

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

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

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕОРИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование технологических процессов производства авиационных, ракетных двигателей и энергетических установок
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	
5	9	3	108	68	34	0	34	40	0	0	40	диф. зач.

*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**

## **ТЕОРИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ 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:

ОПК-7 — способность критически и системно анализировать достижения отрасли двигателестроения и энергетической техники и способы их применения в профессиональном контексте

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-7**

*знания:*

состояния и перспективы развития жидкостных ракетных двигателей

технические характеристики и конструктивные особенности жидкостного ракетного двигателя

основные характеристики рабочих процессов в жидкостных ракетных двигателях

теории и расчетных методик по проектированию жидкостных ракетных двигателей;;;

*умения:*

обосновывать технические решения в области разработки жидкостных ракетных двигателей;

*навыки:*

проведения комплексного технического анализа для обоснованного принятия решения

проведения расчетов и конструирования жидкостных ракетных двигателей и жидкостных ракетных установок, их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕОРИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ 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: **ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И РАБОЧИЕ ТЕЛА, ТЕРМОДИНАМИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические и экспериментальные исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ОПК-4 — Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-6 — Способен осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-7 — Способен критически и системно анализировать достижения отрасли двигателестроения и энергетической техники и способы их применения в профессиональном контексте

### 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		ОПК-7
5	9	<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.	14	4	4	0	10	25
5	9	<b>Раздел 2. Системы подачи.</b> Цели и задачи проектирования систем подачи. Выбор конструктивной схемы системы подачи. Вытеснительные системы подачи. Нагнетательные системы подачи.	33	23	8	15	10	25
5	9	<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. Компонировка 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.	29	19	12	7	10	25
5	9	<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.	32	22	10	12	10	25
<b>Всего за 9 семестр</b>			108	68	34	34	40	100
<b>Всего по дисциплине</b>			108	68	34	34	40	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Системы подачи.	Изучение конструкции и принципа действия основных агрегатов многокамерной двигательной установки первой ступени баллистической ракеты и ракетоносителя.	5
2		Изучение конструкции и принципа действия основных агрегатов двигательной установки ракетоносителя с дожиганием генераторного газа.	5
3		Изучение конструкции и принципа действия основных агрегатов двигательной установки с глубоким дросселированием тяги.	5
4	Раздел 3.	Профилирование сопла	2
5	Проектирование камер.	Определение размеров камеры сгорания	2
6		Компоновка и расчёт смесительных головок	3
7	Раздел 4. Расчёт наружного проточного охлаждения.	Расчёт наружного охлаждения жидкостного ракетного двигателя	8
8		Расчёт прочности камеры ЖРД	2
9		Расчёт гидравлических сопротивлений	2
Всего за 9 семестр			34

#### 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	Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	10

	параметров двигательной установки.		
2	Раздел 2. Системы подачи.	Подготовка к практикуму: изучение пневмогидравлической схемы двигателя. Режимов работы двигателя, изучение конструктивных особенностей основных агрегатов двигателя, изучение конструктивных особенностей и принципа работы систем автоматики двигателя.	10
3	Раздел 3. Проектирование камер.	Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	10
4	Раздел 4. Расчёт наружного проточного охлаждения.	Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	10
<b>Всего за 9 семестр</b>			<b>40</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>9</b>				Собес		ДР		Собес		ДР		Собес			Собес	ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Собес – собеседование;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- собеседование.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 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, 38 экз.
3. Г. Г. Гахун, В. И. Баулин, В. А. Володин. . Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1989, 24 экз.
4. Д. Г. Кравченко, А. А. Киршина. . Устройство двигателя РД-0204 (8Д44). СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, 65 экз.
5. Д. Г. Кравченко, Ю. В. Анискевич, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя РД-107. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 81 экз.
6. Е. М. Виноградов, Е. С. Потехин. 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. В. Анискевич, Д. Г. Кравченко, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя 5Д67. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 77 экз.
11. Ю. Н. Филимонов, В. Т. Шевчук. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. 4 Расчёт наружного проточного охлаждения. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990, эл. рес.
12. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, эл. рес.

### 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:**

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

### **6.2. Практические занятия:**

1. Проектор;
2. Интерактивная 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 **ТЕОРИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ 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*:

ОПК-7 способность критически и системно анализировать достижения отрасли двигателестроения и энергетической техники и способы их применения в профессиональном контексте.

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:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**40 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 40 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>		
Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	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)	10
Итого по разделу 1		10
<b>Раздел 2. Системы подачи.</b>		
Подготовка к практикуму: изучение пневмогидравлической схемы двигателя. Режимов работы двигателя, изучение конструктивных особенностей основных агрегатов двигателя, изучение конструктивных особенностей и принципа работы систем автоматики двигателя.	Е. М. Виноградов, Е. С. Потехин. Система подачи: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (2.1-2.4) Ю. В. Анискевич, Д. Г. Кравченко, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя 5Д67: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1-7) Д. Г. Кравченко, А. А. Киршина. . Устройство двигателя РД-0204 (8Д44): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (1-4) Д. Г. Кравченко, Ю. В. Анискевич, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя РД-107: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1-5)	10
Итого по разделу 2		10
<b>Раздел 3. Проектирование камер.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (2, 4, 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)	10

	<p>Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. .          Основы устройства и теории ЖРД:          СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф.          Устинова, 2016 (5)</p> <p>Г. Г. Гахун, В. И. Баулин, В. А.          Володин. . Конструкция и          проектирование жидкостных ракетных          двигателей: М.: Машиностроение,          1989 (6.1-6.3)</p>	
Итого по разделу 3		10
<b>Раздел 4. Расчёт наружного проточного охлаждения.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	<p>Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. .          Проектирование внутрикамерных          процессов и охлаждение двигателей:          СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф.          Устинова, 2011 (1-8)</p> <p>М. В. Добровольский. . Жидкостные          ракетные двигатели. Основы          проектирования: М.: Изд-во МГТУ им.          Н. Э. Баумана, 2016 (4)</p> <p>Ю. Н. Филимонов, В. Т. Шевчук.          Основы проектирования двигателей          летательных аппаратов. Ч. 4 Расчёт          наружного проточного охлаждения:          БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф.          Устинова, 1990 (4.1-4.3)</p>	10
Итого по разделу 4		10

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- собеседование;
- дифференцированный зачет.

### 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. Собеседование проводится при защите двигателя. Оценивается способность обучающегося найти и показать основные элементы двигательной установки на ПГС и на натурном образце, суметь объяснить их принцип действия, знать основные характеристики двигательной установки, способность объяснить циклограмму работы. Собеседование успешно пройдено, если обучающийся правильно ответил более чем на 60% вопросов преподавателя.

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 выставляются 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

Оценивается способность обучающегося найти и показать основные элементы двигательной установки на ПГС и на натурном образце, суметь объяснить их принцип действия, знать основные характеристики двигательной установки, способность объяснить циклограмму работы. Собеседование успешно пройдено, если обучающийся правильно ответил более чем на 60% вопросов преподавателя.

Примерный перечень вопросов на защиту каждого двигателя:

1. Рассказать о назначении двигателя.

2. Рассказать о составе двигателя, указать расположение всех узлов на ПГС.
3. Доложить о свойствах и характеристиках топливных компонентов.
4. Доложить значения параметров двигателя.
5. Какие параметры двигателя в каких пределах регулируются?
6. Указать на ПГС все элементы, указать их назначение.
7. Описать работу агрегатов при запуске и переходных режимах.
9. Описать работу агрегатов при останове двигателя.
10. Рассказать о камере сгорания: состав, основные характеристики, работа.
11. Какие особенности имеет система смесеобразования в этом двигателе?
12. Какие особенности охлаждения камеры и ГГ имеются у этого двигателя?
13. Описать основные особенности ТНА: назначение, состав, основные характеристики.
14. Из каких элементов состоит система уплотнений ТНА, как они работают?
15. Какие характеристики имеют турбина, НОК и НГ?
16. Как устроен ГГ: какие имеет характеристики?
17. Какие на этом двигателе используются агрегаты управления, регулирования, контроля?
18. Рассказать устройство, особенности конструкции и характеристики регулятора расхода.
19. Рассказать, как работает регулятор.
20. Как устроен и как работает дроссель – регулятор СОБ?
21. Как устроены и как работают клапаны пуска, какие у них назначения.
22. Как устроен и как работают клапан воздуха, какое у него назначение.
23. Как устроен и как работают клапан окислителя, какое у него назначение.
24. Как устроен и как работают клапан отсечки горючего от ГГ, какое у него назначение.
25. Как устроен и как работают клапан отсечки горючего от КС, какое у него назначение.

### Раздел 3

- Общая схема проектирования
- Выбор числа камер в ДУ
- Приближенный расчет  $\rho_{жж}$
- 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 смещением
- Расчет геометрических размеров форсунок: двухкомпонентная центробежная форсунка с внутренним смещением

### 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

### **Дифференцированный зачет**

Дифференцированный зачет 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		ОПК-7	
5	9	Раздел 1. Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки.	14	4	4	0	10	25	Собеседование
5	9	Раздел 2. Системы подачи.	33	23	8	15	10	25	Собеседование
5	9	Раздел 3. Проектирование камер.	29	19	12	7	10	25	Собеседование
5	9	Раздел 4. Расчёт наружного проточного охлаждения.	32	22	10	12	10	25	Собеседование
Всего за 9 семестр			108	68	34	34	40	100	
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	

## Критерии оценивания

### ОПК-7

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 При разработке смесительной головки камеры жидкостного ракетного работающей по схеме газ-жидкость, ядровые форсунки какого типа будут применены для достижения максимального значения удельного импульса?
- № 2 При выборе материала для проектирования насосов предпочтительными материалами для изготовления корпуса насосов являются \_\_\_\_\_
- Запишите развернутый обоснованный ответ
- № 3 При проектировании охлаждения камеры ракетного двигателя, какие проверочные условия должны выполняться, чтобы охлаждение было эффективным?
- Запишите развернутый ответ
- № 4 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
- № 5 Выберите основные системы регулирования, которые должны работать в составе САУ двигателя с широким диапазоном изменения тяги в полете. Выберите правильные ответы и аргументируйте выбор.
- Система изменения тяги
  - Система стабилизации соотношения компонентов (ССК)
  - Система синхронного опорожнения баков
- № 6 Какие применяют способы борьбы с кавитацией при разработке жидкостного ракетного двигателя, работающего на топливных компонентах, обладающих высокими кавитационными свойствами? Запишите развернутый обоснованный ответ.
- № 7 При разработке камеры жидкостного ракетного двигателя 1ой ступени ракеты-носителя, какие применяют способы охлаждения камеры ракетного двигателя? Запишите развернутый обоснованный ответ.
- № 8 При проектировании камеры двигателя, работающей на жидких компонентах топлива, для достижения максимальной энергоэффективности (удельного импульса) применяют ядровые форсунки каких типов? Выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа .
- центробежные двухкомпонентные форсунки с внешним смешением
  - центробежные двухкомпонентные форсунки с внутренним смешением
  - однокомпонентные центробежные форсунки
  - струйные однокомпонентные форсунки
- № 9 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
- № 10 Какие недостатки закрытой системы подачи учитывают при разработке

двигательной установки на основе жидкостного ракетного двигателя?

Вопросы закрытого типа:

№ 1 При выборе материала для проектирования турбин, какой материал используют для лопаток?

- Жаропрочные стали и сплавы

- Монокристаллы

- Алюминиевые сплавы

- Конструкционные стали

№ 2 Проанализируйте назначение ракетного двигателя и 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

№ 3 Проанализируйте условие работы двигателя и 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

№ 4 Проанализируйте назначение двигателя и 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

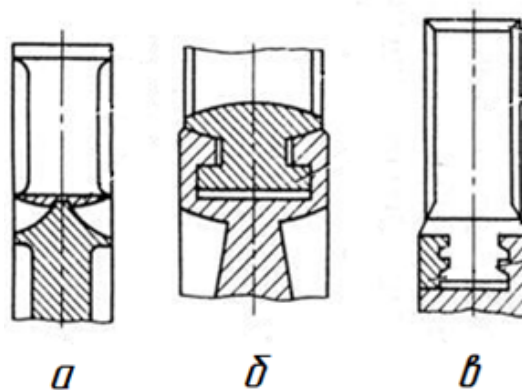
№ 5 У существующих двигателей летательных аппаратов на жидкостном ракетном двигателе с насосной системой подачи с дожиганием генераторного газа, в каком диапазоне находится давление в камере?

- до 4 МПа

- от 4 до 12 МПа

- от 10 до 25 МПа

№ 6 Какой из представленных на рисунке способов крепления лопаток применяется для турбин двигателей летательных аппаратов больших тяг?



№ 7 На пневмогидравлических схемах двигателей летательных аппаратов на основе жидкостного ракетного двигателя с насосной системой подачи, как чаще всего расположены насосы относительно турбины?

- |   |                                    |   |   |
|---|------------------------------------|---|---|
| А | Генераторный газ окислительный     | 1 | Насос окислителя расположен ближе к турбине |
| Б | Генераторный газ восстановительный | 2 | Насос горючего расположен ближе к турбине   |

№ 8 У двигателей летательных аппаратов на основе жидкостного ракетного двигателя, работающих на компонентах топлива по схеме газ+жидкость, для достижения максимального значения удельного импульса чаще всего применяют компоновку смесительной головки ...

- с концентрическим расположением ядровых двухкомпонентных газожидкостных форсунок
- с шахматным расположением ядровых однокомпонентных струйных форсунок
- с концентрическим расположением ядровых однокомпонентных струйных форсунок
- с сотовым расположением ядровых двухкомпонентных газожидкостных форсунок

№ 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 Для жидкостных ракетных двигателей второй ступени, работающих на самовоспламеняющихся компонентах топлива, с возможностью глубокого дросселирования - изменения тяги в широких диапазонах, какую компоновочную схему конструкции турбонасосного агрегата чаще всего применяют

\_\_\_А\_\_\_ турбонасосный агрегат с \_\_\_Б\_\_\_ расположением турбины

А – Однороторный (безредукторный) / многороторный (редукторный)

Б - консольным / центральным