

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН

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	
3	6	4	144	51	34	0	17	93	36	0	57	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: 2025

Программу составили:

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

Левихин Артем Алексеевич, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой

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

Гашевский Егор Михайлович, 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 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН**

## **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:

ПК-5 — Способен проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов

ПК-6 — Способен проводить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующей ракетно-космической техники и их элементов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

## **ПК-5**

*знания:*

формирование у студента системы знаний, охватывающей разнообразие типов схемных и конструктивных решений тепловых машин (ТМ), определяющей на стадии разработки принципы обоснования их параметров, способов оптимизации, обеспечения максимальной энергетической эффективности использования ТМ в составе различного назначения энергетических систем, базирующейся на фундаментальных представлениях о ТМ как сложной технической системе;

модель физических представлений о схемных решениях, составе, условий эксплуатации и функциональном назначении входящих в состав ТМ агрегатов, расчётные методики оценки их рабочих параметров;

потребности, основные способы и ресурсы повышения технико-экономических, эксплуатационных и экологических характеристик ТМ;

*умения:*

способы оптимизации параметров эффективности ТМ с учётом вариативности их агрегатного состава, схемных решений, назначения и условий эксплуатации;

*навыки:*

выполнения энергетических расчётов.

## **ПК-6**

*знания:*

комплекс характеристик, определяющих технико-экономические, эксплуатационные и экологические характеристики (параметры эффективности) ТМ;

*умения:*

формировать и использовать математическое обеспечение для оценки основных технико-экономических характеристик ТМ с учётом вариативности их назначения, схемных решений, состава рабочих топливных композиций;

*навыки:*

обоснования выбора и разработки вариантов схемных решений ТМ с учётом вариативности их назначения, базовых рабочих параметров, состава рабочих топливных композиций.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН** 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, ТОПЛИВА РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- 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
- ПК-2 — Способен разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) жидкостных ракетных двигателей и их составных элементов
- ПК-4 — Способен проводить работы по обработке, анализу результатов экспериментальных исследований, испытаний ракетных двигателей и их элементов
- ПК-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 4 з.е., 144 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		ПК-5	ПК-6
3	6	<b>Раздел 1. Раздел 1. Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система.</b> Материальная масса и энергия - факторы обеспечения функционирования. ТМ. Основные параметры ТМ. Система эквивалентов. Классификация ТМ по природе используемой энергии. ТМ с совмещенными и разобщенными источниками массы и энергии. Структурный состав. Основные энергетические агрегаты и системы. Общие характеристики. Области использования.	12	6	4	2	6	15	15
3	6	<b>Раздел 2. Раздел 2. ТМ с вытеснительной системой питания.</b> Пневмогидравлические схемы. Энергетический расчет (для различных типов генераторов, при наличии или отсутствии в системе "бустерных" насосов и т.п.). Нагнетательные системы питания открытого, закрытого типа. Факторы, обеспечивающие возможности повышения эффективности при переходе к дожиганию. Давление в камере как критерий эффективности. Ограничения уровней давлений в камере. Примеры схемных решений.	59	25	18	7	34	25	25
3	6	<b>Раздел 3. Раздел 3. Системы наддува (СН).</b> Назначение. Типы СН. СН с газовым аккумулятором давления. Автогенераторные СН (газогенераторные, испарительные, СН с хранением рабочего тела в жидком состоянии, СН с инъекцией реагентов в основной бак, СН с полнотропным расширением РТ в баке, СН с пороховым аккумулятором давления, "СН" с вспомогательными насосами). Требования к рабочему телу СН. Сопоставительный анализ характеристик СН различных типов. Способы повышения эффективности СН.	30	10	6	4	20	25	25
3	6	<b>Раздел 4. Раздел 4. Системы запуска и отключения ТМ.</b> Разновидности запуска. Способы обеспечения многократности запуска. Системы воспламенения.	28	8	4	4	20	15	15
3	6	<b>Раздел 5. Раздел 5. Проблема регулирования ТМ по режимным и энергетическим параметрам.</b> Общая характеристика способов и систем регулирования ТМ с системами питания открытого типа и с дожиганием.	15	2	2	0	13	20	20
Всего за 6 семестр			144	51	34	17	93	100	100
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Раздел 1. Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система.	Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система. Расчёт и исследование температурной зависимости	2
2	Раздел 2. Раздел 2. ТМ с вытеснительной системой питания.	Энергетический расчёт ТМ с нагнетательными системами питания открытого типа	4
3		Энергетический расчёт ТМ с нагнетательными системами питания и дожиганием генераторного газа	3
4	Раздел 3. Раздел 3. Системы наддува (СН).	Пневмогидравлические схемы и рабочие характеристики систем наддува	4
5	Раздел 4. Раздел 4. Системы запуска и отключения ТМ.	Системы запуска и отключения ТМ	4
Всего за 6 семестр			17

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

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Раздел 1. Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система.	Изучение основной и дополнительной литературы теме раздела. Подготовка к практическому занятию	6
2	Раздел 2. Раздел 2. ТМ с вытеснительной системой питания.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	10

3		Подготовка к практическому занятию	4
4		Выполнение разделов КП	20
5	Раздел 3. Раздел 3. Системы наддува (СН).	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	6
6		Подготовка к практическому занятию	4
7		Выполнение разделов КП	10
8	Раздел 4. Раздел 4. Системы запуска и отключения ТМ.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	6
9		Подготовка к практическому занятию	4
10		Выполнение разделов КП	10
11	Раздел 5. Раздел 5. Проблема регулирования ТМ по режимным и энергетическим параметрам.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	13
<b>Всего за 6 семестр</b>			<b>93</b>

### 3.4. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Анализ задания, расчёт и оптимизация параметров рабочего процесса применительно к варианту задания (с учётом назначения ТМ, уровня производительности, топливной пары)	2 - 3	8
Этап 2. Обоснование облика и параметров ТМ с нагнетательной системой питания открытого типа	4 - 6	12
Этап 3. Обоснование облика и параметров ТМ с нагнетательной системой питания замкнутого типа (с дожиганием генераторного газа)	7 - 11	12
Этап 4. Оформление пояснительной записки, выполнение графической части и защита курсового проекта	12 - 17	4
<b>Всего за 6 семестр</b>		<b>36</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>6</b>	КПос	КПос	КПос	КПос	ДР	КПос, ТекК	КПос	КПос	ДР	КПос, ТекК	КПос	КПос	КПос	КПос, ТекК	ДР	КП	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- КПос – контроль посещаемости;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- КП – курсовой проект.

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

- диагностическая работа;
- контроль посещаемости;
- вопросы для текущего контроля;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Левихин, Ю. В. Анискевич, А. А. Галаджун. . Теория ракетных двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, эл. рес.
2. В. А. Пинчук. . Энергетический расчёт ЖРД с нагнетательными системами питания. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, эл. рес.
3. В. В. Кулагин, В. С. Кузьмичев. . Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Москва: Машиностроение, 2020, эл. рес.
4. В. В. Сахин. . Устройство и действие энергетических объектов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
5. В. Е. Алемасов, А. Ф. Дрегаллин, А. П. Тишин. . Теория ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1980, 210 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. М. С. Штехер. . Топлива и рабочие тела ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1976, эл. рес.
10. Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 26 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Вестник воздушно-космической обороны;
2. Двигатель.

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

1. <https://ura.it.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов..

### 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. Аудитория с числом посадочных мест не меньше количества обучающихся.

### **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 **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН** 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*:

ПК-5 Способен проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов;

ПК-6 Способен проводить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующей ракетно-космической техники и их элементов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с осознанием социальной значимости своей будущей профессии, обладанием высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности (ОК- 8);

творческим принятием основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применением методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-10);

способностью применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в процессе отработки и последующего изготовления, и эксплуатации двигателей ЛА (ОК-18); способностью самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ОПК-6).

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- контроль посещаемости;
- вопросы для текущего контроля;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**93 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 93 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. Раздел 1. Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы теме раздела. Подготовка к практическому занятию	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1) Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (1)	6
Итого по разделу 1		6
<b>Раздел 2. Раздел 2. ТМ с вытеснительной системой питания.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	А. А. Левихин, Ю. В. Анискевич, А. А. Галаджун. . Теория ракетных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (1-2) В. В. Сахин. . Устройство и действие энергетических объектов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (1-2)	10
Подготовка к практическому занятию	В. Е. Алемасов, А. Ф. Дрегаллин, А. П. Тишин. . Теория ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1980 (1-2)	4
Выполнение разделов КП		20
Итого по разделу 2		34
<b>Раздел 3. Раздел 3. Системы наддува (СН).</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	В. А. Пинчук. . Энергетический расчёт ЖРД с нагнетательными системами питания: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1-3)	6
Подготовка к практическому занятию	М. С. Штехер. . Топлива и рабочие тела ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1976 (1-3)	4
Выполнение разделов КП		10
Итого по разделу 3		20
<b>Раздел 4. Раздел 4. Системы запуска и отключения ТМ.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	Е. М. Виноградов, Е. С. Потехин. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. II Система подачи: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (1-3)	6
Подготовка к практическому занятию	Е. С. Потехин, Ю. Н. Филимонов. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. III Проектирование камер: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (1-4)	4
Выполнение разделов КП		10
Итого по разделу 4		20
<b>Раздел 5. Раздел 5. Проблема регулирования ТМ по режимным и энергетическим параметрам.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	В. В. Кулагин, В. С. Кузьмичев. . Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и	13

	энергетических установок: Москва: Машиностроение, 2020 (1-4)	
Итого по разделу 5		13

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- контроль посещаемости;
- вопросы для текущего контроля;
- курсовой проект;
- 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.

#### Контроль посещаемости

Контроль посещаемости не менее 50% лекционных и практических занятий.

#### Вопросы для текущего контроля

- 1) Классификация тепловых машин по природе используемой энергии.
- 2) Камера сгорания и газогенератор.
- 3) Пневмогидравлические схемы с вытеснительной системой питания. Способы обеспечения высокой эффективности использования в составе летательного аппарата.
- 4) Нагнетательные системы питания открытого типа и с дожиганием генераторного газа в камере. Общие особенности характеристик.
- 5) Энергетический расчет (для различных типов генераторов, при наличии или отсутствии в системе "бустерных" насосов и т.п.).
- 6) Общие особенности способов обеспечения высокой энергетической эффективности ТМ
- 7) Назначение и типы систем наддува.
- 8) Сопоставительный анализ характеристик СН различных типов.
- 9) Способы обеспечения многократности запуска.
- 10) Системы воспламенения.

Контрольное мероприятие считается выполненным при получении 75% правильных ответов.

#### Курсовой проект

Общая тема КП: «Обоснование облика и режимных параметров энергетической установки с системами питания открытого типа и с дожиганием генераторного газа в камере».

В качестве исходных данных для выполнения курсового проекта задаются:

- состав топливных компонентов, используемых ТМ;
- тяга ТМ (применительно к «пустоте»);
- назначение ТМ;
- особые требования к характеристикам ТМ (если они оговариваются).

Курсовой проект представляется в печатном виде в формате, соответствующим «Положению о порядке организации и проведения курсового проектирования обучающихся по образовательным программам среднего профессионального образования и высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры» СТО.БГТУ.СМК-К5-21-2023» от 25 июля 2023 г. Защита курсового проекта проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы членов комиссии. В ходе защиты КП обучающиеся должны продемонстрировать культуру речи при изложении своих мыслей, логичность в постановке и изложении материала, необходимые начальные знания по существу обсуждаемой темы.

В случае, если оформление курсового проекта и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, студент получает оценку:

- оценка «отлично» выставляется, при правильном выполнении курсового проекта, правильных ответов

студента на вопросы преподавателя от 90 до 100%;

- оценка «хорошо» выставляется, при незначительных ошибках в содержании курсового проекта, правильных ответов студента на вопросы преподавателя от 75 до 90%;

- оценка «удовлетворительно» выставляется, при незначительных ошибках в содержании курсового проекта, правильных ответов студента на вопросы преподавателя от 50 до 75%.

- оценка «не защитил» выставляется, при значительных ошибках в содержании курсового проекта, при допущении принципиальных ошибок в ответах на вопросы преподавателя - правильных ответов менее 50%.

### Экзамен

Допуск к экзамену выставляется в случае посещения не менее 50% лекционных и практических занятий и защищенного курсового проекта.

Экзамен проводится в форме устных ответов на вопросы экзаменационного билета. Оценка за экзамен выставляется по результатам ответов на 2 вопроса экзаменационного билета:

«отлично» - полный ответ на 2 вопроса билета и возможные дополнительные вопросы;

«хорошо» - незначительные замечания на ответы по 2 основным вопросам и неполные ответы на дополнительные вопросы;

«удовлетворительно» - неполные ответы на 2 вопроса билета, отсутствие ответов на отдельные дополнительные вопросы;

«неудовлетворительно» - неполный ответ на один вопрос билета, отсутствие ответа на второй и дополнительные вопросы.

Вопросы экзаменационных билетов:

1. Ракетный двигатель (ТМ). Основные параметры ТМ
2. Метод эквивалентов при анализе совокупного влияния характеристик ТМ на эффективность использования ТМ в составе ЛА.
3. Массовый эквивалент . Пример использования в задачах оптимизации характеристик ТМ.
4. Топливный массовый эквивалент . Пример использования для оптимизации характеристик ТМ
5. ТМ с совмещенными и разобращенными источниками массы и энергии. Сопоставительный анализ массово-энергетических характеристик и условий использования.
6. Камера и газогенератор ТМ. Анализ режимных особенностей и условий оптимизации характеристик.
7. Зависимость Анализ зависимости
8. Влияние и на эффективность использования ТМ в составе ЛА.
9. Массовый расход рабочего тела системы наддува бака («О») – использование основных компонентов для генерации рабочего тела СН ( НСП открытого типа с преднасосами)
10. Массовый расход рабочего тела системы наддува бака («Г») – использование основных компонентов для генерации рабочего тела СН (НСП открытого типа с преднасосами).
11. Зависимость (вариант ограничения и ).
12. Зависимость (вариант ограничения и ).
13. камеры и двигателя ТМ. Общие условия оптимизации режимных параметров ТМ с НСП открытого типа.
14. Расход рабочего тела системы наддува баков при использовании для наддува третьего компонента (N2ж)
15. Способы регулирования тяги двигателей с НСП открытого типа и с дожиганием. Примеры схемных реализаций. Сопоставительный анализ.
16. ТМ с нагнетательными системами питания открытого типа. Оптимальное давление в камере ( ).
17. Мощность «подкачивающего насоса» ТНА ТМ с нагнетательной системой питания и дожиганием восстановительного генераторного газа в камере.
18. Потери «на ТНА» ТМ с НСП открытого типа. Оценка потерь. Пути минимизации.
19. ТМ с нагнетательной системой питания открытого типа. . Оптимальное давление в камере.
20. Системы питания ТМ топливными компонентами. в зависимости от типа СП
21. Статический энергетический расчет ТМ с нагнетательной системой питания открытого типа. Базовые условия и общая методика расчета.
22. Бустерные нагнетательные агрегаты (БНА) и преднасосы (ПН). Особенности оценок характеристик основных ТНА в системах питания с БНА и ПН
23. Статический энергетический расчет ТМ с НСП открытого типа (вариант - с двухкомпонентным ГГ).
24. Система наддува (СН) с хранением рабочего тела (РТ) в жидком состоянии. Схемная реализация (на примере известных решений). Определение мощности насоса РТ СН
25. Определение мощности преднасоса системы питания ТМ (энергообеспечение - за счет отбора части компонента после основного насоса).
26. Статический энергетический расчет ТМ с НСП открытого типа (вариант - с однокомпонентным ГГ и

бустерными насосами).

27. Энергетический расчет ТМ с НСП открытого типа (вариант использование третьего компонента для продуцирования рабочего тела турбины).

28. Определение мощности насоса, перекачивающего рабочее тело СН (топливных баков «О» и «Г») в жидком состоянии (например, ).

29. Статический энергетический расчет ТМ с нагнетательной системой питания открытого типа (вариант - с использованием генераторного газа для наддува бака).

30. Расход рабочего тела СН топливных баков (вариант с использованием дополнительного компонента в жидком состоянии – N<sub>2</sub>).

31. ТМ с дожиганием генераторного газа. Общая характеристика. Факторы повышения при переходе к «дожиганию». Максимальное давление в камере.

32. Энергетический расчет ДТМ с дожиганием генераторного газа (вариант – с окислительным ГГ)

33. Энергетический расчет ДТМ с дожиганием генераторного газа (вариант – с окислительным ГГ и преднасосами)

34. Энергетический расчет ТМ с дожиганием генераторного газа (вариант – с окислительным ГГ и использованием генераторного газа для наддува топливных баков)

35. Энергетический расчет ДТМ с дожиганием генераторного газа (вариант – с восстановительным ГГ)

36. ТМ с дожиганием генераторного газа в камере. Энергетический расчет (вариант – с двумя газогенераторами). Определение расхода генераторного газа .

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		ПК-5	ПК-6	
3	6	Раздел 1. Раздел 1. Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система.	12	6	4	2	6	15	15	Контроль посещаемости
3	6	Раздел 2. Раздел 2. ТМ с вытеснительной системой питания.	59	25	18	7	34	25	25	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 3. Раздел 3. Системы наддува (СН).	30	10	6	4	20	25	25	Контроль посещаемости
3	6	Раздел 4. Раздел 4. Системы запуска и отключения ТМ.	28	8	4	4	20	15	15	Контроль посещаемости, Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 5. Раздел 5. Проблема регулирования ТМ по режимным и энергетическим параметрам.	15	2	2	0	13	20	20	Курсовой проект
Всего за 6 семестр			144	51	34	17	93	100	100	
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100	100	



## Оценочные материалы по дисциплине ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН

**ПК-5 - Способен проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Чем определяется плотность топлива  $\rho_T$

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

На что указывает разобщённость источников массы и энергообеспечения двигателя

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте схему ЖРД с системой уравнений энергетического баланса для данной схемы

1) ЖРД с насосной системой подачи открытого типа с подкачивающими агрегатами

2) ЖРД с насосной системой подачи открытого типа

3) ЖРД с двумя газогенераторами и ТНА в системе питания двигателя

а)

$$N_T = N_H^{OK} + N_H^{ZOP}$$

б)

$$\left. \begin{aligned} N_{\delta T}^{OK} &= N_{\delta H}^{OK}, & (1) \\ N_{\delta T}^{ZOP} &= N_{\delta H}^{ZOP}, & (2) \\ N_T &= N_{\delta H}^{OK} + N_{\delta H}^{ZOP}. & (3) \end{aligned} \right\}$$

в)

$$\left. \begin{aligned} N_{\delta T}^{OK} &= N_{\delta H}^{OK} & \dots\dots(1) \\ N_{\delta T}^{ZOP} &= N_{\delta H}^{ZOP} & \dots\dots(2) \\ N_{T1}^{OK} &= N_H^{OK} & \dots\dots(3) \\ N_{T2}^{ZOP} &= N_H^{ZOP} & \dots\dots(4) \end{aligned} \right\}.$$

г)

$$\left. \begin{aligned} N_{\delta T}^{OK} &= N_{\delta H}^{OK} \Rightarrow g_{OK}^{\delta T} = \psi_{\delta H}^{OK} \cdot \frac{1}{\eta_{\delta T}^{OK} \eta_{\delta H}^{OK}} & (1) \\ N_{\delta T}^{ZOP} &= N_{\delta H}^{ZOP} \Rightarrow g_{ZOP}^{\delta T} = \psi_{\delta H}^{ZOP} \cdot \frac{1}{\eta_{\delta T}^{ZOP} \eta_{\delta H}^{ZOP}} & (2) \\ N_{T1} &= N_H^{OK_{1cm}} + N_H^{OK_{2cm}} + N_H^{JWZ} & (3) \\ N_{T2} &= N_H^{H_2} & (4) \\ N_{T3} &= N_{\delta H}^{H_2} & (5) \end{aligned} \right\}.$$

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие терминов и определений

1) Двигатель

2) Турбонасосный Агрегат

3) Автономный двигатель

4) Газогенератор

5) Камера двигателя

а) Агрегат в составе транспортного устройства, обеспечивающий его перемещение в пространстве

б) Включаемая в состав ЖРД с нагнетательной системой питания сборка насоса (насосов) с обеспечивающей его (их) работу турбиной

в) Двигатель в составе транспортного устройства, не требующий для обеспечения функционирования внешних по отношению к транспортному устройству каких-либо источников массо- или энергообеспечения

г) Агрегат ЖРД, обеспечивающий, в рамках реализации рабочего процесса, преобразование химической энергии топлива в кинетическую энергию направленного поступательного движения истекающих в окружающее пространство продуктов сгорания

д) Энергопреобразующий агрегат, используемый для продуцирования рабочего тела турбины

е) Часть рабочего объема между форсуночной головкой камеры и сечением перехода её проточного канала в сопловую часть, в котором механизмами горения реализуется и, по существу, завершается преобразование химической энергии непрерывно поступающего в камеру ЖРД топлива в тепловую энергию его продуктов сгорания

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Перечислите этапы обоснование облика и режимных параметров энергетической установки с системами питания открытого типа и с дожиганием генераторного газа в камере:

1) Обоснование облика и параметров ТМ с нагнетательной системой питания замкнутого типа (с дожиганием генераторного газа)

2) Анализ задания, расчёт и оптимизация параметров рабочего процесса применительно к варианту задания (с учётом назначения ТМ, уровня производительности, топливной пары)

3) Обоснование облика и параметров ТМ с нагнетательной системой питания открытого типа

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите схемы ЖРД в порядке увеличения сложности расчета режимных параметров энергетической установки с системами питания открытого типа и с дожиганием генераторного газа в камере:

1) ЖРД с однокомпонентным газогенератором на третьем компоненте

2) ЖРД с двухкомпонентным газогенератором на основных компонентах топлива

3) ЖРД с двухкомпонентным ГГ и подкачивающими агрегатами в НСП

4) ЖРД с однокомпонентным газогенератором (энергоноситель – компонент топлива)

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Чем определяется выбор системы наддува баков?

1) конструктивной схемой ракеты

2) физико-химическими свойствами компонентов топлива

3) требованием обеспечения минимальной массы конструкции

4) удобство и безопасность эксплуатации

5) обеспечением наибольшей величины удельного импульса двигателя

- № 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Тепловая машина – это:
- 1) преобразователь механической формы энергии в тепловую
  - 2) преобразователь тепловой энергии в энергию иной формы (механическую, электрическую) и включаемый, например, в том числе, и в состав транспортных устройств в том числе и для обеспечения их перемещения в пространстве
  - 3) преобразователь электрической формы энергии в тепловую
- № 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Мощность какого агрегата в составе ТНА ЖРД с нагнетательной системой питания оценивается энергозатратами на ввод окислителя в камеру двигателя
- 1) Насоса горючего
  - 2) Турбины ТНА
  - 3) Насоса окислителя
- № 10 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Повышение удельных энергетических характеристик ЖРД при переходе к дожиганию генераторного газа обуславливается:
- 1) устранением потерь химической энергии, связанных со сбросом в окружающее пространство отработавшего на турбине генераторного газа
  - 2) открывающимися в этом случае возможностями увеличения  $I_{уд}$
  - 3) Оба утверждения верные
  - 4) Оба утверждения неверные
- № 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие основные требования предъявляются к системам наддува топливных баков?
- 1) безотказность действия и обеспечение заданного режима наддува с определенной точностью
  - 2) малая масса и небольшие габариты элементов системы
  - 3) удобство и безопасность эксплуатации
  - 4) обеспечение наибольшей величины удельного импульса двигателя
- № 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Для чего необходим наддув топливных баков с насосной системой подачи?
- 1) для обеспечения бескавитационной работы насосов на всех режимах работы двигателя
  - 2) для устранения провала давления в баках в момент запуска двигателя
  - 3) для ускорения выхода двигателя на режим (уменьшение предстартовых расходов топлива)
  - 4) для увеличения температуры в камере сгорания
  - 5) для повышения прочности баков при воздействии на них осевых сжимающих нагрузок
- ПК-6 - Способен проводить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующей ракетно-космической техники и их элементов**
- № 1 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между типом тепловой машины и источником энергии, который она использует.

1. Газотурбинный двигатель
2. Ракетный двигатель
3. Атомный реактор
- А. Химическая энергия топлива
- Б. Тепловая энергия пара/газа
- В. Ядерная энергия
- Г. Солнечная энергия
- Д. Электрическая энергия

№ 2 Прочитайте текст и установите последовательность  
Определите порядок действий при остановке ЖРД:

1. Закрытие клапанов подачи топлива
2. Снижение давления в системе
3. Остановка насосов
4. Отключение системы контроля
5. Сброс остаточного давления

№ 3 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Выберите **все верные утверждения**, объясняющие физические и конструктивные ограничения давления в камере сгорания ЖРД.

1. **Термодинамический предел** — давление не может превышать критическое для данного топлива, иначе происходит переход в сверхкритическое состояние с потерей устойчивости горения.
2. **Прочность материалов** — стенки камеры и сопла разрушаются при давлениях выше допустимого для выбранного сплава (например, меди или никелевых суперсплавов).
3. **Охлаждение камеры** — при слишком высоком давлении тепловой поток через стенки превышает возможности регенеративного охлаждения.
4. **Эффективность сопла** — рост давления требует увеличения площади сопла, что ведет к росту массы конструкции.
5. **Стабильность горения** — высокое давление усиливает риск акустических колебаний и неустойчивого горения.
6. **Давление на выходе из сопла** — должно соответствовать внешнему давлению для максимального удельного импульса (оптимально при  $P_{\text{вых}} = P_{\text{атм}}$ ).

№ 4 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Выберите все правильные требования к рабочему телу системы наддува ракетного двигателя (РД):

1. Высокая плотность энергии
2. Низкая температура кипения
3. Высокая химическая стабильность
4. Низкая вязкость
5. Высокая теплопроводность
6. Низкая коррозионная активность
7. Высокая сжимаемость
8. Низкая стоимость

№ 5 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Выберите все факторы, способствующие повышению эффективности при переходе к дожиганию

газогенераторного газа:

1. Использование современных систем контроля и автоматизации
2. Повышение температуры процесса дожигания
3. Увеличение расхода первичного воздуха
4. Применение катализаторов для ускорения реакции
5. Снижение давления в системе дожигания
6. Оптимизация состава газогенераторного газа
7. Уменьшение времени пребывания газа в реакторе
8. Внедрение систем рекуперации тепла

№ 6 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Имеются ли принципиальные различия между рабочим режимом камеры двигателя и газогенератора?

№ 7 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Есть ли различия между понятиями жидкостной ракетный двигатель (ЖРД) и жидкостная ракетная двигательная установка (ЖРДУ)?

№ 8 Прочитайте текст и установите соответствие

**Установите соответствие между элементами нагнетательной системы питания ЖРД и их характеристиками:**

**Элементы системы:**

1. Вытеснительная система подачи
2. Насосная система подачи
3. Газогенератор

**Характеристики:**

- а. Наиболее простая в техническом исполнении
- б. Требуем создания высокого давления в камере сгорания
- в. Работает на основе каталитического разложения перекиси водорода
- г. Имеет принципиальный недостаток - увеличение массы баков с ростом давления
- д. Использует пар для привода турбины

№ 9 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите правильную последовательность работы системы подачи топлива в жидкостном ракетном двигателе (ЖРД):

1. Подача топлива из баков в насос
2. Прокачка топлива через фильтры
3. Нагнетание топлива в магистраль высокого давления
4. Подача топлива к камере сгорания
5. Создание начального давления в системе
6. Контроль и регулирование подачи топлива

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Принципиальные различия в условиях функционирования авиационных и ракетных двигателей:

- 1) Авиационные двигатели относятся к классу неавтономных
- 2) Условия возможного функционирования авиационных и ракетных двигателей аналогичны
- 3) Ракетные двигатели относятся к классу неавтономных

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Принципиальные требования к рабочему телу систем наддува топливных баков ЖРД:

1) В качестве рабочего тела системы наддува топливных баков ЖРД могут быть использованы любые газы, как и их смеси

2) Рабочее тела системы наддува и топливный компонент должны отвечать требованиям химической и физической совместимости

3) Рабочее тела системы наддува и топливный компонент должны быть самовоспламеняющимися

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Как обеспечение синхронного опорожнения топливных баков способствует минимизации необходимого гарантийного запаса топлива в составе ЛА:

1) способствует уменьшению необходимого гарантийного запаса топлива в составе ЛА

2) способствует увеличению необходимого гарантийного запаса топлива в составе ЛА

3) не влияет на запас топлива в составе ЛА

Содержание дисциплины является логическим продолжением знаний, полученных при освоении программы бакалавриата, в том числе по дисциплине "Иностранный язык" и служит основой для освоения дисциплин: