

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  
**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  
**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 (подпись) Левихин А.А.  
 ФИО  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование авиационных 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	10	4	144	68	34	0	34	76	36	0	40	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 составил:

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

Саваровский Александр Александрович, к.т.н., доцент

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 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ**

## **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-1.8 — Способен разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) воздушно-реактивных двигателей и их составных элементов

ПСК-1.9 — Способен выполнять научно-исследовательские работы и разрабатывать отчёты в обеспечении создания перспективных конкурентоспособных двигательных установок и их составных элементов на основе воздушно-реактивных двигателей

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-1.8**

*знания:*

методологии разработки эскизного проекта перспективной двигательной установки ЛА и его составных элементов;

перспективных методик исследования процессов в реактивном двигателе ЛА;

*умения:*

осуществлять оценку эффективности процессов и совершенства конструкции перспективной двигательной установки ЛА;

*навыки:*

расчёта основных конструктивных элементов перспективной двигательной установки ЛА.

### **ПСК-1.9**

*знания:*

принципов системного и комплексного подхода к проектированию перспективных двигательных установок ЛА, последовательности этапов их разработки;

многообразия схем реализации перспективных двигательных установок ЛА, их конкурентных преимуществ и недостатков;

*умения:*

- выбрать оптимальную конструкцию перспективной двигательной установки в обеспечение достижения заданных тактико-технических характеристик;

- формулировать критерии и направления оптимизации процессов и конструкции перспективной двигательной установки; проводить термогазодинамические расчёты процессов в перспективной двигательной установке;

- оценивать конструкторские решения по повышению энергетической эффективности и надёжности конструкции перспективных двигательных установок ЛА;

*навыки:*

осуществления сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации в области проектирования перспективных двигательных установок ЛА.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений 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, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВРД, ТЕРМОДИНАМИКА, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ ВРД, ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ, СХЕМЫ И КОМПОНОВКИ ВРД, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ КАМЕР СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПРЕДДИПЛОМНАЯ ПРАКТИКА.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ПСК-1.1 — Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования
- ПСК-1.3 — Способен выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов
- ПСК-1.7 — Способен производить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующих двигателей летательных аппаратов и их элементов
- ПСК-1.8 — Способен разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) воздушно-реактивных двигателей и их составных 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		ПСК-1.8	ПСК-1.9
5	10	<b>Раздел 1. Введение в дисциплину.</b> Перспективы развития комбинированных реактивных двигателей (КРД) в современном ракетостроении. Области применения КРД. Требования к режимам полёта и конструктивному облику реактивных двигателей силовых установок (СУ) летательных аппаратов (ЛА). Исходные базовые двигатели для комбинированных силовых установок (КСУ) ЛА. Классификация комбинированных реактивных двигателей. Общие принципы расчёта параметров рабочего процесса и характеристик двигателя для КСУ.	16	8	4	4	8	20	20
5	10	<b>Раздел 2. Турбопрямоточные двигатели.</b> Турбореактивный и прямоточный контуры, конструктивные схемы: с параллельным и tandemным расположением контуров, эжекторного типа. Используемые топлива, однопотливные и двухтопливные турбопрямоточные двигатели (ТПД). Особенности параметров ТРДФ и ТРДДФ, используемых в ТПД, основные требования к конструкции их узлов при больших числах Маха полёта. Сверхзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель (СПВРД), предельные режимы работы. Комбинированный двухрежимный ПВРД, работа в режимах СПВРД/ТПВРД. Конструктивно-силовые схемы СПВРД, схема комбинированного ракетно-прямоточного двигателя, особенности его работы. Нагрузки, действующие на основные элементы конструкции СПВРД, выбор критериев и запасов прочности и устойчивости. Конструкции основных элементов современных СПВРД: воздухозаборников, камеры сгорания, регулируемого реактивного сопла, их прочность и устойчивость. Типы соединений, применяемых для соединения узлов СПВРД между собой и с корпусом ЛА.	26	12	6	6	14	20	20
5	10	<b>Раздел 3. Ракетно-турбинные двигатели.</b> Преимущества РТД по сравнению с ГТД, их основные конструктивные схемы и области применения: газогенераторный ракетно-турбинный двигатель (РТДгг). Оптимальные значения основных параметров РТД: экономичность, габаритные размеры, удельные масса и тяга, удельный импульс и др. Расчётная схема пароводородной турбины для РТД, выбор числа ступеней. Применение редуктора в РТДп. Конструктивные способы повышения эффективности РТДп.	26	12	6	6	14	20	20
5	10	<b>Раздел 4. Ракетно-прямоточные двигатели на твёрдом топливе.</b> Раздел 5. Ракетно-прямоточные двигатели на твёрдом топливе. Классификация комбинированных ракетно-прямоточных двигателей на твёрдом топливе (КРПДТ). Схема летательного аппарата с КРПДТ. Варианты конструкций маршевых и стартово-разгонных ступеней. Конструкция газогенератора и переходного устройства КРПДТ. Назначение переходного устройства. Материалы элементов конструкции КРПД и. их свойства. Требования предъявляемые к материалам конструкции КРПД.	26	12	6	6	14	20	20
5	10	<b>Раздел 5. Ракетно-прямоточные двигатели на жидком топливе.</b> Одноступенчатые ВКС ЛА, спроектированные на основе жидкостно-воздушных реактивных двигателей (ЖВРД) и способные работать в диапазоне $M = 0 \dots 10$ . Бескомпрессорная схема силовой установки с ЖВРД, основные узлы и основные показатели, характеризующие его эффективность. Повышение хладоресурса компонентов топлива. Компрессорные ЖВРД (ЖВРДК), варианты конструктивных схем, используемые хладоресурсы: водорода, сжиженного воздуха. Работа основных узлов. Сравнение скоростных характеристик ЖВРД различных схем. Конструктивная схема ЖВРД, работающего на сжатом и охлаждённом воздухе.	50	24	12	12	26	20	20
Всего за 10 семестр			144	68	34	34	76	100	100
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Введение в дисциплину.	Обобщенная методика расчёта параметров рабочего процесса и характеристик двигателя для комбинированной силовой установки	4
2	Раздел 2. Турбопрямоточные двигатели.	Методы расчета прочностных характеристик элементов конструкции прямоточного контура турбопрямоточных двигателей, выбор критериев и запасов прочности и устойчивости	6
3	Раздел 3. Ракетно-турбинные двигатели.	Методика расчета пароводородной турбины для ракетно-турбинного двигателя с подбором числа ступеней	6
4	Раздел 4. Ракетно-	Расчёт характеристик газогенератора: давления и суммарной	6

	прямоточные двигатели на твёрдом топливе.	площади выходных сечений в зависимости от заданного расхода продуктов газогенерации (для разных температур заряда твёрдого топлива)	
5	Раздел 5. Ракетно-прямоточные двигатели на жидком топливе.	Конструктивные схемы и параметры жидкостно-воздушных реактивных двигателей	8
6		Подготовка отчета о выполнении индивидуального задания	4
<b>Всего за 10 семестр</b>			<b>34</b>

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение в дисциплину.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	6
2		Подготовка к практическому занятию	2
3	Раздел 2. Турбопрямоточные двигатели.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	10
4		Подготовка к практическому занятию	4
5	Раздел 3. Ракетно-турбинные двигатели.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	10
6		Подготовка к практическому занятию	4
7	Раздел 4. Ракетно-прямоточные двигатели на твёрдом топливе.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	10
8		Подготовка к практическому занятию	4
9	Раздел 5. Ракетно-прямоточные двигатели на жидком топливе.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	14
10		Выполнение индивидуального задания	12
Всего за 10 семестр			76

### 3.4. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Анализ задания, расчёт и оптимизация параметров рабочего процесса и характеристик двигателя применительно к варианту задания	2 - 6	10
Этап 2. Обоснование конструкции и параметров двигателя. Проведение расчетно-теоретического исследования	7 - 13	16
Этап 3. Оформление пояснительной записки, выполнение графической части и защита курсового проекта	14 - 17	10
<b>Всего за 10 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
10	КПос, ВРЗД	КПос, ВРЗД	ВРЗД, КПос	КПос, ВРЗД	ВРЗД, КПос	ДР	КПос, ВРЗД	ВРЗД, КПос	КПос, ВРЗД	ДР	ВРЗД, КПос	КПос, ВРЗД	КПос, ВРЗД	КПос, ВРЗД	КПос, ВРЗД	ДР	ВРЗД, КПос, Вопр. Экз, КП

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- КПос – контроль посещаемости;
- ВРЗД – вопросы по разделу;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену;
- КП – курсовой проект.

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

- диагностическая работа;
- контроль посещаемости;
- вопросы по разделу;
- вопросы к экзамену;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.



## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. П. Васильев, В. М. Кудрявцев, В. А. Кузнецов. . Основы теории и расчёта жидкостных ракетных двигателей. М.: Высш. шк., 1993, 46 экз.
2. Б. В. Обносков, В. А. Сорокин, Л. С. Яновский. . Конструкция и проектирование комбинированных ракетных двигателей на твердом топливе. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012, эл. рес.
3. Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей. Санкт-Петербург: Лань, 2021, эл. рес.
4. В. М. Акимов, В. И. Бакулев, Р. И. Курзинер. . Теория и расчёт воздушно-реактивных двигателей. М.: Машиностроение, 1987, 15 экз.
5. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Авиакосмическое приборостроение;
2. Двигатель.

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

1. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2/> — Библиотечно-издательский центр БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова — 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.

### **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 **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений 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-1.8 Способен разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) воздушно-реактивных двигателей и их составных элементов;

ПСК-1.9 Способен выполнять научно-исследовательские работы и разрабатывать отчёты в обеспечении создания перспективных конкурентоспособных двигательных установок и их составных элементов на основе воздушно-реактивных двигателей.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением вариантов конструкций, основных характеристик, особенностей применения и направлений развития перспективных двигательных установок летательных аппаратов. Задачи дисциплины:

- изучение основных конструктивных элементов перспективных двигательных установок;
- изучение особенностей процессов, протекающих в двигательных установках;
- формирование навыков расчёта перспективных двигательных установок;
- овладение методологией проектирования перспективных двигательных установок летательных аппаратов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- контроль посещаемости;
- вопросы по разделу;
- вопросы к экзамену;
- 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 (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**76 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 76 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.
Раздел 1. Введение в дисциплину.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	А. П. Васильев, В. М. Кудрявцев, В. А. Кузнецов. . Основы теории и расчёта жидкостных ракетных двигателей: М.: Высш. шк., 1993 (1)	6
Подготовка к практическому занятию		2
Итого по разделу 1		8
Раздел 2. Турбопрямоточные двигатели.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	Б. В. Обносов, В. А. Сорокин, Л. С. Яновский. . Конструкция и проектирование комбинированных ракетных двигателей на твердом топливе: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (1)	10
Подготовка к практическому занятию		4
Итого по разделу 2		14
Раздел 3. Ракетно-турбинные двигатели.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей: Санкт-Петербург: Лань, 2021 (1)	10
Подготовка к практическому занятию		4
Итого по разделу 3		14
Раздел 4. Ракетно-прямоточные двигатели на твёрдом топливе.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	В. М. Акимов, В. И. Бакулев, Р. И. Курзинер. . Теория и расчёт воздушно-реактивных двигателей: М.: Машиностроение, 1987 (3)	10
Подготовка к практическому занятию		4
Итого по разделу 4		14
Раздел 5. Ракетно-прямоточные двигатели на жидком топливе.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	В. М. Акимов, В. И. Бакулев, Р. И. Курзинер. . Теория и расчёт воздушно-реактивных двигателей: М.: Машиностроение, 1987 (1) М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1, 2)	14
Выполнение индивидуального задания		12

Итого по разделу 5	26
--------------------	----

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- контроль посещаемости;
- вопросы к экзамену;
- 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.

#### Вопросы по разделу

Вопросы по разделу предназначены для контроля текущей успеваемости студентов и их самоконтроля.

Перечень вопросов по разделу соответствует перечню вопросов к экзамену в части, касающейся тематики конкретного раздела

#### Контроль посещаемости

Контроль посещаемости осуществляется на каждом занятии

#### Вопросы к экзамену

1. Понятие о комбинированных двигателях как о перспективных двигательных установках;
2. Виды комбинированных двигателей;
3. Область применения комбинированных двигателей;
4. Турбопрямоточный двигатель: принцип действия;
5. Турбопрямоточный двигатель: достоинства и недостатки;
6. Ракетно-прямоточный двигатель: принцип действия;
7. Ракетно-прямоточный двигатель: достоинства и недостатки;
8. Пароводородный ракетно-турбинный двигатель: принцип действия;
9. Пароводородный ракетно-турбинный двигатель: достоинства и недостатки;
10. Комбинированные двигатели с РДТТ: принцип действия;
11. Комбинированные двигатели с РДТТ: достоинства и недостатки;
12. Возможности повышения температуры цикла ракетно-турбинного двигателя;
13. Возможности повышения температуры цикла ракетно-прямоточного двигателя;
14. Ракетно-прямоточные двигатели на основе ЖРД: принцип действия;
15. Ракетно-прямоточные двигатели на основе РДТ: принцип действия;
16. Сравнение ракетно-прямоточных двигателей на основе ЖРД и РДТТ, их достоинства и недостатки;
17. Преимущества и недостатки ракетно-прямоточного двигателя по сравнению с ракетным двигателем;
18. Ракетно-турбинный двигатель с системой сжижения: принцип действия;
19. Ракетно-турбинный двигатель с системой сжижения: достоинства и недостатки.
20. Достоинства и недостатки комбинированных двигателей.

#### Курсовой проект

Курсовой проект выполняется в соответствии с индивидуальным заданием и представляется в печатном виде.

Общие требования к выполнению и оформлению курсового проекта определяются «Положением по содержанию, оформлению, организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ БГТУ».

Для обеспечения текущего контроля работы студента в течение семестра устанавливаются сроки выполнения этапов курсового проекта. Результаты выполнения отдельных этапов могут учитываться при определении итоговой оценки на защите проекта.

Основанием для недопуска курсового проекта к защите могут быть:

- неполное или неверное выполнение индивидуального задания;
- отсутствие предусмотренных заданием графических материалов или несоответствие их ГОСТ;
- несоответствие пояснительной записки установленным требованиям.

Оценка за курсовой проект выставляется по результатам защиты студентом курсового проекта. Защита курсового проекта предусматривает краткий доклад студента и ответы его на вопросы, связанные с порядком выполнения проекта и темами учебной дисциплины, охваченными курсовым проектом.

Критерии оценивания:

Курсовой проект оценивается по пятибалльной системе.

Оценка «отлично» ставится, если:

- курсовой проект выполнен в полном объеме и соответствует заданию;
- пояснительная записка составлена аккуратно, последовательно с учетом требований стандартов по составлению текстовых документов;
- практическая часть курсового проекта выполнена в полном объеме;
- выполнение курсового проекта проходило в полном соответствии с графиком курсового проектирования;

Оценка «хорошо» допускает:

- некоторые отступления от графика выполнения курсового проектирования;
- существование незначительных погрешностей в оформлении пояснительной записки и программы (практической части курсового проекта).

Оценка «удовлетворительно» допускает:

- существование ошибок, неточностей и непоследовательности при составлении пояснительной записки;
- значительные отступления от требований ЕСКД при выполнении графической части проекта;
- значительное отступление от сроков выполнения курсового проекта;
- недостаточно грамотную защиту.

### **Экзамен**

Экзамен предполагает ответы студента на 2 теоретических вопроса из билета.

Оценивается полнота и правильность ответа на вопросы.

Оценка «удовлетворительно»: полнота ответа на вопросы : не менее 50% по каждому вопросу.

Оценка «хорошо»: полнота ответа на вопросы: не менее 80% по каждому вопросу.

Оценка «отлично»: полнота ответа на вопросы: не менее 80% по каждому вопросу, ответы на 2-3 дополнительных вопроса из списка со степенью полноты ответа не менее 50% по каждому.

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-1.8	ПСК-1.9	
5	10	Раздел 1. Введение в дисциплину.	16	8	4	4	8	20	20	Вопросы по разделу, Контроль посещаемости, Вопросы к экзамену
5	10	Раздел 2. Турбопрямоточные двигатели.	26	12	6	6	14	20	20	Вопросы по разделу, Контроль посещаемости, Вопросы к экзамену
5	10	Раздел 3. Ракетно-турбинные двигатели.	26	12	6	6	14	20	20	Вопросы по разделу, Контроль посещаемости, Вопросы к экзамену
5	10	Раздел 4. Ракетно-прямоточные двигатели на твёрдом топливе.	26	12	6	6	14	20	20	Вопросы по разделу, Контроль посещаемости, Вопросы к экзамену
5	10	Раздел 5. Ракетно-прямоточные двигатели на жидком топливе.	50	24	12	12	26	20	20	Вопросы по разделу, Контроль посещаемости, Вопросы к экзамену, Курсовой проект
Всего за 10 семестр			144	68	34	34	76	100	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	100	



## Оценочные материалы по дисциплине ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

**ПСК-1.8 - Способен разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) воздушно-реактивных двигателей и их составных элементов**

№ 1 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите верную последовательность процессов в ракетном цикле ракетно-турбинного двигателя со смешением потоков:

1. расширение продуктов сгорания в реактивном сопле.
2. расширение на турбине
3. повышение давления в камере газогенератора
4. теплоподвод в камере сгорания
5. теплоподвод в газогенераторе
6. смешение с воздухом при примерно постоянном давлении

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

Преимущества каких силовых установок реализованы в турбопрямоточном двигателе?

1. жидкостный ракетный двигатель;
2. турбореактивный двигатель;
3. прямоточный воздушно-реактивный двигатель;
4. трубодизельный поршневой двигатель.

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

Какие преимущества имеет использование твердого ракетного топлива в ракетно-прямоточном двигателе в сравнении с жидким ракетным топливом?

1. упрощение конструкции двигателя
2. возможность достижения максимальных значений удельного импульса на всей траектории полёта
3. возможность длительного хранения изделия в подготовленном состоянии
4. обеспечение эффективного управления режимами работы двигателя в полёте

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

Какие параметры рабочего процесса в камере сгорания влияют на скорость истечения газов?

1. Давление в камере
2. Состав топливной смеси
3. Материал сопла
4. Температура газов

№ 5 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между параметрами камеры сгорания ЖРД их определениями:

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| 1.                           | А. Отношение объема камеры к площади критического сечения |
| Расходонапряженность головки |   |

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 2. Характеристическая<br>длина камеры | Б. Отношение секундного расхода топлива к площади<br>головки   |
| 3. Относительная<br>площадь головки   | В. Отношение площади головки к площади критического<br>сечения |
|                                       | Г. Отношение секундного расхода топлива к объему камеры        |

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

Какой параметр характеризует совершенство процесса в камере сгорания реактивного двигателя?

1. Температура в КС
2. Давление в КС
3. Коэффициент полноты сгорания
4. Давление на срезе сопла

№ 7 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между типом комбинированного двигателя и характерным для него устройством дополнительного сжатия воздуха:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| 1. ракетно-<br>прямоточный<br>двигатель | А. турбореактивный двигатель      |
| 2.<br>турбопрямоточный<br>двигатель     | Б. струйный нагнетатель (эжектор) |
| 3. ракетно-<br>турбинный<br>двигатель   | В. компрессор                     |
|   | Г. вентилятор                     |

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

Какой параметр характеризует экономичность ракетного двигателя?

1. Тяговооруженность
2. Удельная тяга
3. Давление в камере сгорания
4. Температура газов

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

Выберите из списка основное преимущество ракетно-прямоточного двигателя с отдельными камерами смешения и горения перед ракетно-прямоточным двигателем с совмещенной камерой смешения и горения.

1. простота конструкции;
2. лучшие массогабаритные характеристики;
3. надежность конструктивной схемы;
4. большая эффективность организации рабочего процесса;

№ 10 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Назовите основное преимущество ракетно-прямоточного двигателя с отдельными камерами смешения и горения перед ракетно-прямоточным двигателем с совмещенной камерой смешения и горения.

№ 11 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Чем ограничена максимальная величина температуры подогрева водорода в пароводородном ракетно-турбинном двигателе?

№ 12 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите верную последовательность развития топлив для РДТТ:

1. Баллиститы и кордиты
2. Черный порох
3. Металлизированные топлива
4. Составные твердые топлива

**ПСК-1.9 - Способен выполнять научно-исследовательские работы и разрабатывать отчёты в обеспечении создания перспективных конкурентоспособных двигательных установок и их составных элементов на основе воздушно-реактивных двигателей**

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

Какой параметр топлива влияет на продолжительность работы ракетного двигателя?

1. Температура кипения
2. Вязкость
3. Весовая плотность
4. Цвет топлива

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

В каком из комбинированных двигателей для повышения эффективности работы используется высокая энергоёмкость подогретого водорода, но не используется хладоресурс водородного топлива?

1. ракетно-прямоточный двигатель с совмещенной камерой смешения и горения;
2. пароводородный ракетно-турбинный двигатель;
3. турбопрямоточный двигатель на базе одноконтурного двигателя;
4. ракетно-турбинный двигатель с системой сжижения воздуха.

№ 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Что является основным недостатком составных силовых установок, в которых предусмотрена последовательная работа различных типов двигателей?

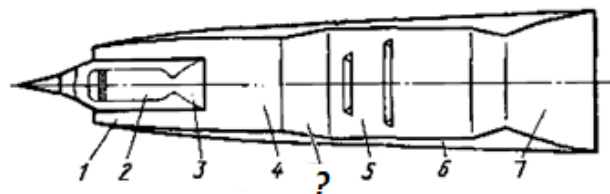
№ 4 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какие преимущества имеет использование жидкого ракетного топлива в ракетно-прямоточном двигателе в сравнении с твердым ракетным топливом?

1. возможность длительного хранения изделия в подготовленном состоянии;
2. упрощение конструкции двигателя ;
3. возможность достижения максимальных значений удельного импульса на всей траектории полёта;
4. достижение максимальной экономичности в условиях малых (дозвуковых) скоростей полёта.

№ 5 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Какой конструктивный элемент расположен между камерой смешения (4) и камерой горения (5) в ракетно-прямоточном двигателе и для чего он нужен?



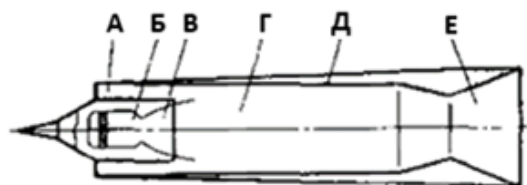
№ 6 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между схемами горения топлива в РДТТ и их характеристиками:

- |                  |                                      |
|------------------|--------------------------------------|
| 1. Нейтральное   | А. Увеличение тяги в процессе работы |
| 2. Регрессивное  | Б. Постоянная тяга                   |
| 3. Прогрессивное | В. Уменьшение тяги в процессе работы |
|                  | Г. Импульсный режим работы           |

№ 7 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте элементы конструкции ракетно-прямоточного двигателя с совмещенной камерой смешения и горения с их номерами на схеме:



1. корпус прямоточного контура
2. воздухозаборник
3. камера смешения и сгорания

№ 8 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите правильную последовательность расчета удельных параметров комбинированных двигателей для заданных режимов полета и работы двигателя:

1. Определение теплосодержания продуктов сгорания на выходе из комбинированного двигателя
2. Определение скорости истечения, удельных тяги и импульса тяги
3. Определение отношения давлений в реактивном сопле
4. Анализ исходных данных для определения режимов полета и работы двигателя

№ 9 Прочитайте текст и установите последовательность

Определите правильный порядок этапов расчета центробежной форсунки:

1. Определение угла распыла
2. Расчет коэффициента расхода
3. Определение радиуса сопла
4. Выбор числа и расположения входных каналов

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

Преимущества каких силовых установок реализованы в ракетно-турбинном двигателе?

1. жидкостный ракетный двигатель;
2. прямоточный воздушно-реактивный двигатель;

3. турбореактивный двигатель;

4. трубодизельный поршневой двигатель.

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

Что из перечисленного влияет на выбор типа топлива для ракетного двигателя?

1. Энергетическая плотность топлива

2. Легкость хранения и транспортировки

3. Цвет топлива

4. Стоимость производства

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

Что из перечисленного способствует увеличению удельного импульса ракетного двигателя?

1. Повышение температуры сгорания топлива

2. Увеличение массы ракеты

3. Использование более эффективных расширительных сопел

4. Оптимизация формы камеры сгорания