

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 Юнаков Л. П.
 (подпись) ФИО
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА И ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

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	5	4	144	68	34	0	34	76	0	0	76	ЭКЗ.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

год набора группы: 2024

Программу составили:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ _____

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

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ _____

Савченко Григорий Борисович, старший преподаватель

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

ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА И ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Разделы рабочей программы

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

Приложения к рабочей программе дисциплины

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

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-2 — способность разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) жидкостных ракетных двигателей и их составных элементов
ПСК-6 — способность 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:

ПСК-2

знания:

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

умения:

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

навыки:

обоснования облика и предложение вариантов схемных решений ДУ в зависимости от исходных данных, разработки ПГС ДУ с различными системами подачи компонентов топлива;.

ПСК-6

знания:

система знаний, охватывающей разнообразие типов схемных и конструктивных решений двигательных установок (ДУ), определяющей на стадии разработки принципы обоснования их параметров, способов оптимизации, обеспечения максимальной энергетической эффективности

использований ДУ в составе различного назначения энергетических систем, базирующейся на фундаментальных представлениях о ДУ как сложной технической системе;;

умения:

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

навыки:

анализа схемных и конструктивных решений ДУ и агрегатов;.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА И ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК** 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, ОЗНАКОМИТЕЛЬНАЯ ПРАКТИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-7 — Способен критически и системно анализировать достижения отрасли двигателестроения и энергетической техники и способы их применения в профессиональном контексте
- ПСК-6 — Способен проводить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующей ракетно-космической техники и их элементов

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 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-2	ПСК-6
3	5	Раздел 1. Термодинамические и энергетические основы рабочего процесса в РД. Энергетические характеристики РД. Тяга РД. Удельный импульс. Пустотный и расчетный режимы истечения из сопла. Импульсные коэффициенты потерь. Расходный и тяговый комплекс. Зависимость характеристик РД от вида топлива и коэффициента избытка окислителя.	12	2	2	0	10	10	0
3	5	Раздел 2. Классификация реактивных двигателей. Классификация реактивных двигателей, ракетные двигатели, воздушно-реактивные двигатели, гидро-реактивные двигатели. Ракетные двигатели на химическом топливе: ЖРД, РДТТ, гибридные РД. Основные виды энергии, используемые для РД.	14	4	4	0	10	10	0
3	5	Раздел 3. Основные элементы ЖРД. Схемы систем подачи топлива в камеру ЖРД. Схемы ЖРД с дожиганием и без дожигания газогенераторных газов. Состав ЖРД. Принципы работы и характеристики агрегатов: камера РД, газогенератор, турбонасосный агрегат. Классификация ЖРДУ по типу подачи топлива: вытеснительная и насосная системы подачи. Область применения в ракетной технике, особенности компоновки агрегатов РД. Открытая и закрытая схемы ЖРД. Особенности компоновки пневмогидравлической схемы. Область применения и основные параметры. Методика расчета энергетического баланса.	28	14	6	8	14	20	25
3	5	Раздел 4. Организация рабочего процесса и характеристики камер сгорания и газогенераторов РД. Формы камер сгорания. Процесс смесеобразования компонентов в форсуночной головке. Основные типы форсунок для схем «газ-газ», «газ-жидкость». Компоновка форсунок. Конструкция газогенератора. Однозонный, двухзонный газогенератор. Газогенераторы работающие на окислительном и восстановительном газе, сравнение. Виды охлаждения камеры сгорания и газогенератора. Охлаждение и теплозащита. Методика расчета охлаждения камеры сгорания. Требования к охлаждающим жидкостям. Конструктивные особенности трактов охлаждения.	31	17	8	9	14	20	25
3	5	Раздел 5. Общая теория лопаточных машин. Устройство и принцип работы ТНА. Турбонасосный агрегат, назначение. Виды компоновки ТНА: однороторный, многороторный; редукторный, безредукторный. Классификация турбин РД. Основные характеристики. Классификация насосов по конструкции: тангенциальный, осевой, центробежный, шнекоцентробежный. Основные характеристики для насосов разных типов. Понятие кавитации. Режим срыва работы для разного типа насосов. Способы повышения давления на входе в насос для борьбы с кавитацией. Уплотнения, применяемые в ТНА для устранения утечек. Виды уплотнений: контактные, бесконтактные. Конструкция, принцип действия, материалы уплотнений.	31	17	8	9	14	20	25
3	5	Раздел 6. Основные элементы систем автоматики двигателей. Принцип работы и устройства. Регулирование ЖРД. Система стабилизации соотношения компонентов – назначение, принцип действия, основной исполнительный орган. Система синхронного опорожнения баков. Система регулирования камеры сгорания. Управление вектором тяги.	28	14	6	8	14	20	25
Всего за 5 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 3. Основные элементы ЖРД. Схемы систем подачи топлива в камеру ЖРД. Схемы ЖРД с дожиганием и без дожигания газогенераторных газов.	Изучение конструкции и принципа действия основных агрегатов многокамерной двигательной установки первой ступени баллистической ракеты и ракетносителя.	8
2	Раздел 4. Организация рабочего процесса и характеристики камер сгорания и газогенераторов РД.	Изучение конструкции и принципа действия основных агрегатов двигательной установки ракетносителя с дожиганием генераторного газа.	9
3	Раздел 5. Общая теория лопаточных машин. Устройство и принцип работы ТНА.	Изучение конструкции и принципа действия основных агрегатов двигательной установки с глубоким дросселированием тяги.	9
4	Раздел 6. Основные элементы систем автоматики двигателей. Принцип работы и устройства.	Изучение конструкции и принципа действия основных агрегатов двигательной установки	8

	верхней ступени космического летательного аппарата многократного включения.	
Всего за 5 семестр		34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Термогазодинамические и энергетические основы рабочего процесса в РД.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	10
2	Раздел 2. Классификация реактивных двигателей.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	10
3	Раздел 3. Основные элементы ЖРД. Схемы систем подачи топлива в камеру ЖРД. Схемы ЖРД с дожиганием и без дожигания газогенераторных газов.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	5
4		Проработка материалов практических занятий	9
5	Раздел 4. Организация рабочего процесса и характеристики камер сгорания и газогенераторов РД.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	5
6		Проработка материалов практических занятий	9
7	Раздел 5. Общая теория лопаточных машин. Устройство и принцип работы ТНА.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	5
8		Проработка материалов практических занятий	9
9	Раздел 6. Основные элементы систем автоматики двигателей. Принцип работы и устройства.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	5
10		Проработка материалов практических занятий	9
Всего за 5 семестр			76

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
5				ВПЗ		ДР		ВПЗ		ДР		ВПЗ			ВПЗ	ДР	Вопр. Экз, ВПЗ, Тест

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВПЗ – вопросы/задания по темам ПЗ;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену;
- Тест – тест.

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

- диагностическая работа;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- вопросы к экзамену;
- тест.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. Д. Г. Кравченко, А. А. Киршина. . Устройство двигателя РД-0204 (8Д44). СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, 65 экз.
2. Д. Г. Кравченко, Ю. В. Анискевич, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя РД-107. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 81 экз.
3. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.
4. Н. К. Матвеев, А. А. Семёнов. . Устройство двигателя РД-119. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020, 25 экз.
5. Н. К. Матвеев, А. А. Семёнов. . Устройство двигателей РД-112 и РД-113. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, 20 экз.
6. Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 26 экз.
7. Ю. В. Анискевич, Д. Г. Кравченко, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя 5Д67. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 77 экз.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

5.3. Периодические издания:

1. Вопросы оборонной техники. Серия 16;
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. <https://ibooks.ru/> - ЭБС "Айбукс";
3. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2/> - Библиотека "ВОЕНМЕХ" — 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 - 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. Макеты ЖРД (РД-107, 8Д44, 5Д12, РД-253);
2. 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 **ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА И ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

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

ПСК-6 способность 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 особенностями схемных и конструктивных решений двигательных установок (ДУ), определяющую принципы обоснования их параметров, способы обеспечения достижимых уровней эксплуатационной надёжности, экологических характеристик, комплексной оптимизации параметров их технико-экономической эффективности ДУ как сложной технической системы с учетом их назначения и конкретных условий эксплуатации.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- вопросы к экзамену;
- тест.

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. Термогазодинамические и энергетические основы рабочего процесса в РД.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1,2)	10
Итого по разделу 1		10
Раздел 2. Классификация реактивных двигателей.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (1) М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1)	10
Итого по разделу 2		10
Раздел 3. Основные элементы ЖРД. Схемы систем подачи топлива в камеру ЖРД. Схемы ЖРД с дожиганием и без дожигания газогенераторных газов.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (3,6,8,9) Д. Г. Кравченко, Ю. В. Анискевич, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя РД-107: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1)	5
Проработка материалов практических занятий	Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (1,2)	9
Итого по разделу 3		14
Раздел 4. Организация рабочего процесса и характеристики камер сгорания и газогенераторов РД.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (5,6) М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1,2)	5
Проработка материалов практических занятий	Д. Г. Кравченко, А. А. Киришина. . Устройство двигателя РД-0204 (8Д44): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (1)	9
Итого по разделу 4		14
Раздел 5. Общая теория лопаточных машин. Устройство и принцип работы ТНА.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц	Ю. В. Анискевич, Д. Г. Кравченко, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя 5Д67: СПб.БГТУ	5

по рекомендуемой литературе	"ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1) Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (7)	9
Проработка материалов практических занятий		
Итого по разделу 5		14
Раздел 6. Основные элементы систем автоматики двигателей. Принцип работы и устройства.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (3) Н. К. Матвеев, А. А. Семёнов. . Устройство двигателя РД-119: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (1) Н. К. Матвеев, А. А. Семёнов. . Устройство двигателей РД-112 и РД-113: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (1)	5
Проработка материалов практических занятий		9
Итого по разделу 6		14

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы к экзамену;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- тест;
- 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 к экзамену

Вопросы к экзамену охватывают весь курс и содержатся в УМК дисциплины. Экзаменационные билеты утверждаются перед сессией на заседании кафедры А8.

Вопросы/задания по темам ПЗ

На практических занятиях оценивается способность обучающегося найти и показать основные элементы двигательной установки на ПГС и на натурном образце, умение объяснить их принцип действия, знание основных характеристик двигательной установки, способность объяснить циклограмму работы. Контроль проходит в форме доклада студента и ответов на вопросы преподавателя. Контроль пройден при правильном ответе обучающегося более чем на 60% вопросов преподавателя

Примерный перечень вопросов на защиту 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.

Тест

Тест состоит из 20 вопросов. Тест считается сданным при наличии правильных ответов на не менее чем на 60% вопросов.

Комплект тестовых заданий входят в состав УМК дисциплины.

Экзамен

На оценку "удовлетворительно" экзамен проходит в форме тестирования. Указанная оценка выставляется при наличии не менее 80% правильных ответов теста.

На оценку «хорошо» экзамен проходит в форме устного ответа на два теоретических вопроса.

Оценивается полнота и правильность ответа по билету. Указанная оценка выставляется при полноте ответа по билету не менее 80% по среднеарифметическому значению, при условии что полнота ответа по каждому вопросу была не менее 60%

На оценку "отлично" экзамен проходит в форме устного ответа на два вопроса по билету, и 1-2 дополнительных вопроса. Полнота ответа на вопросы по билету должна быть не менее 80% по каждому из вопросов билета и не менее 30% по каждому дополнительному вопросу.

Оценка "неудовлетворительно" ставится при менее 80% правильных ответов в тесте, и/или при полноте ответа по билету менее 60% по среднеарифметическому значению, и/или при отсутствии ответа на любой из вопросов билета.

Паспорт фонда оценочных средств

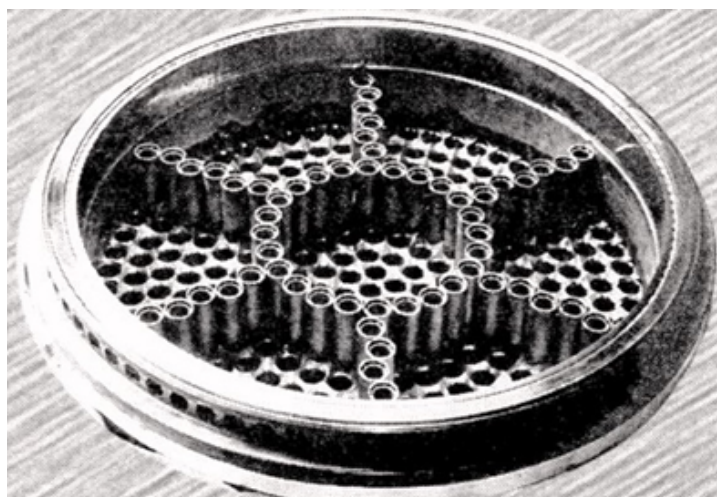
КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-2	ПСК-6	
3	5	Раздел 1. Термогазодинамические и энергетические основы рабочего процесса в РД.	12	2	2	0	10	10	0	Вопросы к экзамену
3	5	Раздел 2. Классификация реактивных двигателей.	14	4	4	0	10	10	0	Вопросы к экзамену
3	5	Раздел 3. Основные элементы ЖРД. Схемы систем подачи топлива в камеру ЖРД. Схемы ЖРД с дожиганием и без дожигания газогенераторных газов.	28	14	6	8	14	20	25	Вопросы к экзамену
3	5	Раздел 4. Организация рабочего процесса и характеристики камер сгорания и газогенераторов РД.	31	17	8	9	14	20	25	Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	5	Раздел 5. Общая теория лопаточных машин. Устройство и принцип работы ТНА.	31	17	8	9	14	20	25	Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	5	Раздел 6. Основные элементы систем автоматики двигателей. Принцип работы и устройства.	28	14	6	8	14	20	25	Вопросы/ задания по темам ПЗ, Вопросы к экзамену, Тест
Всего за 5 семестр			144	68	34	34	76	100	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	100	

Критерии оценивания

ПСК-2

Вопросы открытого типа:

- № 1 При разработке проекта однорежимного жидкостного двигателя тягой 1,8 МН, работающего в плотных слоях атмосферы, какую систему подачи компонентов необходимо применять? Запишите развёрнутый обоснованный ответ.
- № 2 При разработке проекта жидкостного ракетного двигателя второй ступени тягой 100 кН, с возможностью глубокого дросселирования, какую систему подачи компонентов топлива необходимо применить? Запишите развёрнутый обоснованный ответ.
- № 3 В чем принципиальное отличие ракеты-носителя с двигательной установкой, работающей по схеме с дожиганием генераторного газа от двигательной установки, работающей по схеме без дожигания генераторного газа? Запишите развёрнутый обоснованный ответ.
- № 4 При проектировании жидкостного ракетного двигателя закрытой схемы, работающего на компонентах, обладающих высокими кавитационными свойствами, какие решения необходимо применить, чтобы снизить вероятность срыва работы турбо-насосного агрегата? Запишите развёрнутый обоснованный ответ.
- № 5 Какие формы трактов охлаждения камеры ракетного двигателя рекомендуется использовать, чтобы увеличить теплосъём и прочность камеры ракетного двигателя? Выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа .
1. гофрированная проставка
 2. фрезерованный канал
 3. щелевой канал по выштамповкам
 4. щелевой канал
- № 6 При разработке камеры двигателя, работающей на жидких компонентах топлива, для достижения максимального удельного импульса, какие типы ядровых форсунок необходимо применить? Выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа .
1. центробежные двухкомпонентные форсунки с внешним смешением
 2. центробежные двухкомпонентные форсунки с внутренним смешением
 3. однокомпонентные центробежные форсунки
 4. струйные однокомпонентные форсунки
- № 7 При разработке камеры жидкостного ракетного двигателя 1ой ступени ракеты-носителя, работающей на жидких компонентах, какие возможны способы организации охлаждения камеры ракетного двигателя? Запишите развёрнутый обоснованный ответ.
- № 8 Каково назначение выдвинутых относительно огневого днища форсунок?



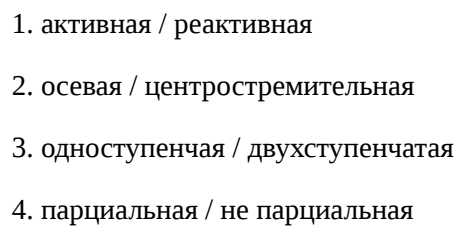
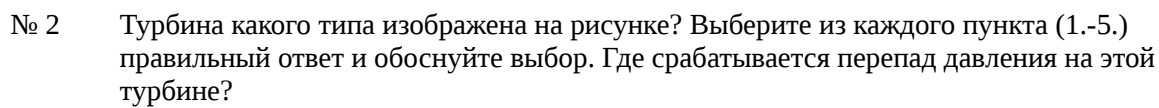
- № 9 Какая масса топлива (в кг) требуется для работы десяти двигателей первой ступени сверхлегкой ракеты-носителя? Тяга одного двигателя – 15000 Н, удельный импульс – 2800 м/с? Время активного участка траектории составляет 70 с. Принять допущение, что сопла двигателей все время работает на расчётном режиме.
- Выберите правильный ответ и аргументируйте выбор
1. 3750 кг
 2. 375 кг
 3. 53,5 кг
 4. 5,35 кг
- № 10 ЖРД с тягой 500 кН имеет следующие расходы компонентов: горючее – 51 кг/с; окислитель – 132,5 кг/с. Определить удельный импульс двигателя. Полученный результат округлить до ближайшего целого значения.
- Выберите правильный ответ и аргументируйте выбор.
1. 2725 м/с
 2. 3774 м/с
 3. 5000 м/с
- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 При условии, что компоненты камеры ракетного двигателя - газообразный окислитель и жидкое горючее, то какое расположение форсунок и тип форсунок необходимо установить в смесительной головке, чтобы достичь максимальное значение удельного импульса?
1. Концентрическое расположение ядровых двухкомпонентных газожидкостных форсунок
 2. Шахматное расположение ядровых однокомпонентных струйных форсунок
 3. Концентрическое расположение ядровых однокомпонентных струйных форсунок
 4. Сотовое расположение ядровых двухкомпонентных газожидкостных форсунок
- № 2 При разработке ЖРДУ поставлена задача достичь максимальное внутрикамерное давление. Ниже представлены возможные варианты схем ЖРДУ. Расположите представленные схемы в порядке увеличения максимума внутрикамерного давления.
- Схема насосной подачи "Ж+Ж"
 - Схема насосной подачи "Ж+Г"
 - Схема насосной подачи "Г+Г"
 - Вытеснительная система подачи
- № 3 Какое максимальное давление в камере РД можно реализовать при вытеснительной системе подачи компонентов?
1. 0,5 МПа
 2. 2,5 МПа
 3. 12 МПа
 4. 25 МПа
 5. 50 МПа
- № 4 Какое максимальное давление в камере РД можно реализовать при насосной системе подачи компонентов без дожигания генераторного газа?
1. 2,5 МПа
 2. 5,0 МПа
 3. 12 МПа
 4. 25 МПа
 5. 50 МПа

- № 5 Какое максимальное давление в камере РД можно реализовать при насосной системе подачи компонентов с дожиганием генераторного газа (схема жид+жид)?
1. 2,5 МПа
 2. 5,0 МПа
 3. 12 МПа
 4. 25 МПа
 5. 50 МПа
- № 6 Какое максимальное давление в камере РД можно реализовать при насосной системе подачи компонентов с дожиганием генераторного газа (схема Г+Г)?
1. 2,5 МПа
 2. 5,0 МПа
 3. 12 МПа
 4. 25 МПа
 5. 50 МПа
- № 7 Подберите подходящий тип газогенератора для ракетного двигателя с закрытой схемой подачи на окислительном генераторном газе:
- Двухзонный с газовыми втулками
 - Однозонный с двухкомпонентными центробежными форсунками
 - Однозонный с двухкомпонентными струйными форсунками
- № 8 Соотнесите наименование возможных методов охлаждения элементов двигательной установки на основе жидкостного ракетного двигателя и принцип работы охлаждения
1. Пристеночный слой
 2. Регенеративное охлаждение
 3. Абляционное охлаждение
- А Охлаждение низкотемпературным газом
 Б Охлаждение за счет отвода тепла посредством протока охладителя
 В Охлаждение за счет уноса массы с поверхности
 Г Охлаждение без уноса массы с твердой поверхности
- № 9 Соотнесите возможные типы форсунок и их расположение в смесительных головках камер двигательных установок на основе ЖРД в направлении увеличения удельного импульса.
- струйная форсунка
 - центробежная форсунка шахматного расположения
 - центробежная форсунка сотового расположения
 - двухкомпонентные центробежные форсунки
- № 10 Соотнесите уровень температур в агрегатах жидкостных ракетных двигателей
1. Ядро потока в КС ЖРД
 2. Пристеночный слой в КС ЖРД
 3. Окислительный ГГ
 4. Восстановительный ГГ
- А) 3000...4000 К
 Б) 1800...1900 К
 В) 600...800 К
 Г) 1000...1200 К

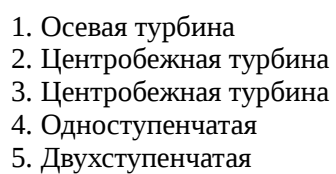
ПСК-6

Вопросы открытого типа:

- № 1 ЖРД какого типа изображен на рисунке? Запишите полный обоснованный ответ.



23610



1. вытеснительной
2. насосной с дожиганием генераторного газа
3. насосной без дожигания генераторного газа

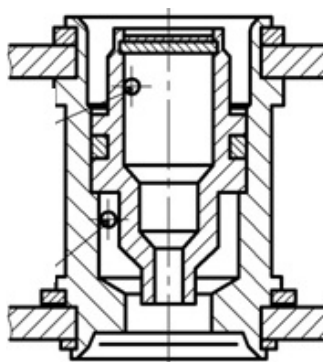
№ 5 Расположите виды трактов охлаждения по мере увеличения их эффективности.

- Несвязанные оболочки
- Тракт с выштамповками
- Гофрированный тракт
- Фрезерованный тракт

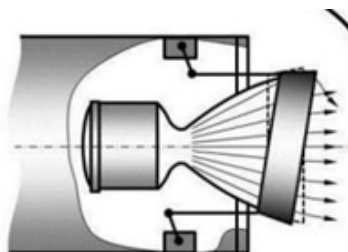
№ 6 Подберите подходящий тип газогенератора для ракетного двигателя с закрытой схемой подачи на окислительном генераторном газе:

1. Двухзонный с газовыми втулками
2. Однозонный с двухкомпонентными центробежными форсунками
3. Однозонный с двухкомпонентными струйными форсунками

№ 7 Какого типа форсунка представлена на рисунке? Запишите развернутый обоснованный ответ.



№ 8 К какому способу управления вектором тяги относится способ, изображенный на рисунке? Выберите правильный ответ и обоснуйте свой выбор.



1. аэродинамический способ
2. с частичным отклонением струи
3. газодинамический способ

№ 9 Для какой цели применяется секционирование смесительной головки? Выберите правильный ответ и укажите как метод работает.

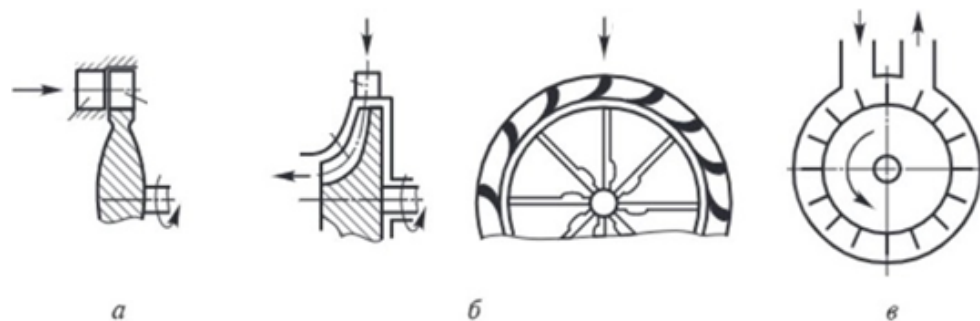
1. для регулирования тяги ДУ
2. для применения криогенных компонентов топлива
3. для минимизации массо-габаритных характеристик ДУ
4. для обеспечения многократности запуска ДУ

№ 10 Охлаждающий тракт какого типа целесообразнее использовать для охлаждения критического сечения сопла? Выберите правильный ответ и обоснуйте свой выбор.

1. Гладкий щелевой тракт
2. Тракт со связанными оболочками по выштамповкам
3. Тракт со связанными через гофрированную проставку оболочками
4. Фрезерованный тракт

Вопросы закрытого типа:

№ 1 Какого типа турбины изображены на рисунках? Сопоставьте рисунок и правильный ответ



1. осевая
2. радиальная центростремительная
3. радиальная центробежная
4. тангенциальная

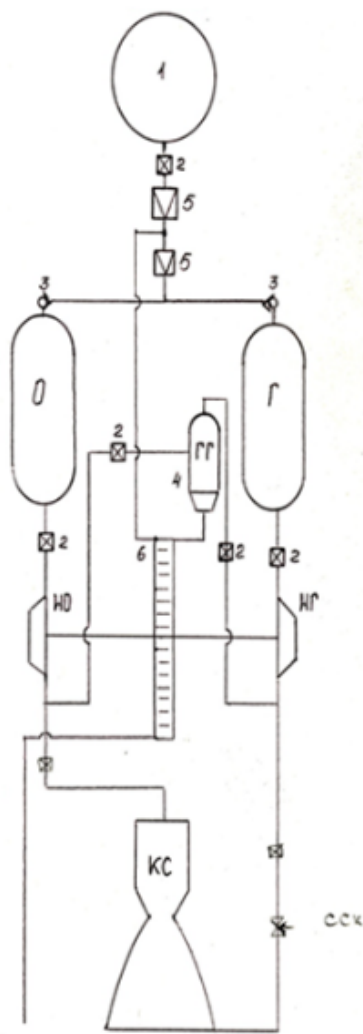
№ 2 Какой из перечисленных агрегатов жидкостного ракетного двигателя на самовоспламеняющихся компонентах топлива является лишним?

- Камера сгорания
- Газогенератор
- Реактивная газовая турбина
- Блок рулевых камер
- Блок пирозажигающих устройств

№ 3 В электронную базу данных необходимо внести информацию о двигателях, использующих открытую турбонасосную схему подачи (без дожигания генераторного газа). Выберите из перечисленных те двигатели, информация о которых должна быть внесена:

1. 8Д44
2. РД-107
3. НК-33
4. РД-253
5. 5Д67

№ 4 На рисунке представлена пневмогидравлическая схема жидкостного ракетного двигателя, соотнесите название элемента и цифру, указанную на пневмогидравлической схеме.



- А - газовый аккумулятор давления
 Б – пуско-отсечной клапан
 В – обратный клапан
 Г – газогенератор
 Д - редуктор
 Е - турбина

№ 5 Какой из способов управления вектором тяги подразумевает наличие гибких трубопроводов, карданного подвеса?

1. аэродинамический способ
2. с частичным отклонением струи
3. с полным отклонением струи
4. газодинамический способ

№ 6 Расположите варианты схем насосной подачи компонентов ЖРД в порядке увеличения максимально возможного значения давления в камере:

- А - Жидкость + жидкость
 Б - Жидкость + газ
 В - Газ + газ

№ 7 Для какой цели применяется секционирование форсуночной головки

1. регулированием тяги ДУ в широком диапазоне
2. применением криогенных компонентов топлива
3. минимизацией массо-габаритных характеристик ДУ
4. обеспечением многократности запуска ДУ

№ 8 Турбина, газ после которой направляется в окружающую среду называется:

1. Активной

2. Реактивной
3. Автономной
4. Предкамерной
5. Парциальной
6. Центростремительной

№ 9 Какая из указанных систем регулирования ЖРД предназначена для поддержания величины тяги ЖРД?

1. ССК (стабилизации соотношения компонентов)
2. РКС (регулирования кажущейся скорости)
3. СОБ (синхронного опорожнения баков)
4. УВТ (управления вектором тяги)

№ 10 Охлаждающий тракт какого типа используется в газогенераторе двигателя 5Д67?

1. Гладкий щелевой тракт
2. Тракт со связанными оболочками по выштамповкам
3. Тракт со связанными через гофрированную проставку оболочками
4. Фрезерованный тракт