

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

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

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДВИГАТЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Направление/специальность подготовки	24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов
Специализация/профиль/программа подготовки	Пусковые устройства, транспортно-установочное оборудование и средства обслуживания стартовых комплексов
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	8	3	108	51	34	17	0	57	0	0	57	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов**

год набора группы: 2024

Программу составил:

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

Киришина Алёна Андреевна, старший преподаватель

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

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

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Долбенков В.Г., к.т.н., снс \_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **ДВИГАТЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

### **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-01 — способность использовать CALS-технологии и определять внешний облик изделий, разрабатывать состав и объемно-массовые характеристики систем, механизмов и агрегатов, входящих в ракетный или ракетно-космический комплекс

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-01**

*знания:*

Технико-экономические, эксплуатационные и экологические характеристики ДУ;

Агрегатный состав, схемные решения, назначение и условия эксплуатации ДУ;;

*умения:*

оценка основных энергетических характеристик ДУ;;

*навыки:*

обоснования облика и вариантов схемных решений ДУ;.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ДВИГАТЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ МОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ СТРАТЕГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ОПК-7 — Способен критически и системно анализировать достижения ракетостроения и космонавтики, способы их применения в профессиональном контексте
- УК-6 — Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки и образования в течение всей жизни

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ПСК-01
4	8	<b>Раздел 1. Термодинамические и энергетические основы рабочего процесса в ракетных двигателях.</b> 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.	6	2	2	0	4	15
4	8	<b>Раздел 2. Химические топлива.</b> Классификация реактивных двигателей, ракетные двигатели, воздушно-реактивные двигатели, гидро-реактивные двигатели. Ракетные двигатели на химическом топливе: ЖРД, РДТГ, гибридные РД. Основные виды энергии, используемые для РД. Классификация жидких ракетных топлив. Общие требования к топливам. Соотношение компонентов топлива. Эквивалентная формула топлива. Основные жидкие ракетные топлива. Твердые ракетные топлива. Требования к ТРТ. Добавки к ТРТ. Воспламенители ТРТ. Сравнительные характеристики ЖДТ и ТРТ.	8	4	4	0	4	15
4	8	<b>Раздел 3. Основные элементы ЖРД. Схемы систем подачи топлива в камеру ЖРД. Схемы ЖРД с дожиганием и без дожигания газогенераторных газов.</b> Состав ЖРД. Принципы работы и характеристики агрегатов: камера РД, газогенератор, турбокомпрессорный агрегат. Классификация ЖРДУ по типу подачи топлива: вытеснительная и насосная системы подачи. Область применения в ракетной технике. Открытая и закрытая схемы ЖРД. Особенности компоновки пневмогидравлической схемы. Область применения и основные параметры.	20	11	6	5	9	20
4	8	<b>Раздел 4. Камера сгорания и газогенератор.</b> 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.	30	14	8	6	16	20
4	8	<b>Раздел 5. Общая теория лопаточных машин. Устройство и принцип работы турбонасосного агрегата.</b> 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.	30	14	8	6	16	20
4	8	<b>Раздел 6. Основные элементы систем автоматики двигателей. Принцип работы и устройства.</b> Регулирование ЖРД. Система стабилизации соотношения компонентов – назначение, принцип действия, основной исполнительный орган. Система синхронного опорожнения баков. Система регулирования камеры сгорания. Управление вектором тяги.	14	6	6	0	8	10
Всего за 8 семестр			108	51	34	17	57	100
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100

#### 3.2. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	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 многокамерной ДУ I ступени БР и РН	5
2	Раздел 4. Камера сгорания и газогенератор.	Изучение конструкции ДУ РН с дожиганием генераторного газа	6
3	Раздел 5. Общая теория лопаточных машин. Устройство и принцип работы турбонасосного агрегата.	Изучение конструкции ДУ с дросселированием тяги	6
Всего за 8 семестр			17

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

№	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем,
---	---	-----------------------------	--------

п/п			часов
1	Раздел 1. Термогазодинамические и энергетические основы рабочего процесса в ракетных двигателях.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	4
2	Раздел 2. Химические топлива.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	4
3	Раздел 3. Основные элементы ЖРД. Схемы систем подачи топлива в камеру ЖРД. Схемы ЖРД с дожиганием и без дожигания газогенераторных газов.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	4
4		Проработка материалов лабораторного практикума	5
5	Раздел 4. Камера сгорания и газогенератор.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	4
6		Проработка материалов лабораторного практикума	12
7	Раздел 5. Общая теория лопаточных машин. Устройство и принцип работы турбонасосного агрегата.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	4
8		Проработка материалов лабораторного практикума	12
9	Раздел 6. Основные элементы систем автоматики двигателей. Принцип работы и устройства.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	8
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>57</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
8					КВ, КПос	ДР			КВ, КПос	ДР					КВ, Тест, КПос	ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- КВ – контрольные вопросы;
- Тест – тест;
- КПос – контроль посещаемости;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- контрольные вопросы;
- тест;
- контроль посещаемости.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. Г. Г. Гахун, В. И. Баулин, В. А. Володин. . Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1989, 24 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. Д. Г. Кравченко, Ю. В. Анискевич, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя РД-107. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, эл. рес.
4. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.
5. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, 100 экз.
6. Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, эл. рес.
7. Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 26 экз.
8. Ю. В. Анискевич, Д. Г. Кравченко, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя 5Д67. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 77 экз.
9. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, эл. рес.
10. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, 30 экз.
11. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 24 экз.
12. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

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

1. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> - Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова — 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. Лабораторные 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 **ДВИГАТЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*. 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-01 способность использовать CALS-технологии и определять внешний облик изделий, разрабатывать состав и объемно-массовые характеристики систем, механизмов и агрегатов, входящих в ракетный или ракетно-космический комплекс.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением разнообразия типов схемных и конструктивных решений двигательных установок (ДУ), принципов обоснования параметров ДУ, способов обеспечения достижимых уровней эксплуатационной надёжности, экологических характеристик, комплексной оптимизацией 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;
- контрольные вопросы;
- тест;
- контроль посещаемости.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 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. Термогазодинамические и энергетические основы рабочего процесса в ракетных двигателях.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1, 2) М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1, 2)	4
Итого по разделу 1		4
<b>Раздел 2. Химические топлива.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1) М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1)	4
Итого по разделу 2		4
<b>Раздел 3. Основные элементы ЖРД. Схемы систем подачи топлива в камеру ЖРД. Схемы ЖРД с дожиганием и без дожигания газогенераторных газов.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (1, 2) Д. Г. Кравченко, Ю. В. Анискевич, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя РД-107: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1-5) Д. Г. Кравченко, Ю. В. Анискевич, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя РД-107: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1-5) Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (1, 2) М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1, 2)	4
Проработка материалов лабораторного практикума	Г. Г. Гахун, В. И. Баулин, В. А. Володин. . Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1989 (1, 2) М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1, 2)	5
Итого по разделу 3		9

<b>Раздел 4. Камера сгорания и газогенератор.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	<p>М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (4, 5)</p> <p>Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1-4)</p> <p>Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (5, 6)</p> <p>Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (5, 6)</p> <p>Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1, 2)</p> <p>Г. Г. Гахун, В. И. Баулин, В. А. Володин. . Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1989 (5, 6)</p> <p>Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1-4)</p>	4
Проработка материалов лабораторного практикума	<p>Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1, 2)</p> <p>Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1, 2)</p> <p>Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1, 2)</p>	12
Итого по разделу 4		16
<b>Раздел 5. Общая теория лопаточных машин. Устройство и принцип работы турбонасосного агрегата.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	<p>М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (6)</p> <p>Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (7)</p> <p>Г. Г. Гахун, В. И. Баулин, В. А. Володин. . Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1989 (7)</p>	4
Проработка материалов лабораторного практикума	<p>Ю. В. Анискевич, Д. Г. Кравченко, А. М. Лабанова. . Устройство двигателя 5Д67: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1-7)</p>	12
Итого по разделу 5		16
<b>Раздел 6. Основные элементы систем автоматики двигателей. Принцип работы и устройства.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	<p>Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (3)</p> <p>Г. Г. Гахун, В. И. Баулин, В. А. Володин. . Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1989 (3)</p> <p>М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (7)</p>	8
Итого по разделу 6		8

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- тест;
- контроль посещаемости;
- контрольные вопросы;
- дифференцированный зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

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

#### Тест

Тестирование считается пройденным при правильном ответе больше, чем на 60% вопросов

#### Контроль посещаемости

Аттестация проставляется при условии посещения не менее 75 % лекционных занятий.

Отработка пропущенных занятий не требуется.

#### Контрольные вопросы

На лабораторном практикуме 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. Зачет выставляется при правильном ответе обучающегося более чем на 60% вопросов преподавателя.

за 1 и 2 собеседование:

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

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

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

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

за 3 собеседование:

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

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

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

0 баллов - обучающийся не стал защищать двигатель или при защите дал менее 2 правильных ответов на обязательные вопросы 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.

#### **Дифференцированный зачет**

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

Критерии оценивания:

менее 51 балла - не зачтено;

51 - 74 балла - зачтено-удовлетворительно;

75 - 84 балла - зачтено-хорошо;

85 и более баллов - зачтено-отлично.

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ПСК-01	
4	8	Раздел 1. Термогазодинамические и энергетические основы рабочего процесса в ракетных двигателях.	6	2	2	0	4	15	Тест, Контроль посещаемости
4	8	Раздел 2. Химические топлива.	8	4	4	0	4	15	Тест, Контроль посещаемости
4	8	Раздел 3. Основные элементы ЖРД. Схемы систем подачи топлива в камеру ЖРД. Схемы ЖРД с дожиганием и без дожигания газогенераторных газов.	20	11	6	5	9	20	Контрольные вопросы, Тест, Контроль посещаемости
4	8	Раздел 4. Камера сгорания и газогенератор.	30	14	8	6	16	20	Контрольные вопросы, Тест, Контроль посещаемости
4	8	Раздел 5. Общая теория лопаточных машин. Устройство и принцип работы турбонасосного агрегата.	30	14	8	6	16	20	Контрольные вопросы, Тест, Контроль посещаемости
4	8	Раздел 6. Основные элементы систем автоматики двигателей. Принцип работы и устройства.	14	6	6	0	8	10	Тест, Контроль посещаемости
Всего за 8 семестр			108	51	34	17	57	100	
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	

## Критерии оценивания

### ПСК-01

*Вопросы открытого типа:*

- № 1 Жидкий водород является высокоэффективным горючим для ракет-носителей, но что ограничивает его широкое применение и для каких ступеней его применение целесообразно? Дайте развернутый обоснованный ответ
- № 2 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
- 3750 кг
  - 375 кг
  - 53,5 кг
  - 5,35 кг
- № 3 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.
- № 4 Выберите основные системы регулирования, которые должны работать в составе САУ двигателя с широким диапазоном изменения тяги в полете. Выберите правильные ответы и аргументируйте выбор.
- Система изменения тяги
  - Система стабилизации соотношения компонентов (ССК)
  - Система синхронного опорожнения баков
- № 5 В номенклатуру агрегатов и датчиков в схеме после газогенератора для ракетного двигателя с закрытой схемой подачи на окислительном генераторном газе должен быть обязательно включен? Выберите правильный ответ и аргументируйте выбор.
- датчик давления
  - датчик температуры (термопара)
  - датчик определения массового расхода
- № 6 В составе ракетного двигателя с турбонасосной схемой подачи типа «газ + газ» имеется (в количественном выражении) \_\_\_\_\_ основных газогенератора.
- № 7 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 развернутый обоснованный ответ.
- № 8 Какие применяют способы борьбы с кавитацией при разработке жидкостного ракетного двигателя, работающего на топливных компонентах, обладающих высокими кавитационными свойствами? Запишите развернутый обоснованный ответ.
- № 9 При разработке камеры жидкостного ракетного двигателя 1ой ступени ракеты-носителя, какие возможны способы охлаждения камеры ракетного двигателя? Запишите развернутый обоснованный ответ.
- № 10 При проектировании камеры двигателя, работающей на жидких компонентах топлива, для достижения максимальной энергоэффективности (удельного импульса) применяют ядровые форсунки каких типов? Выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа .
- центробежные двухкомпонентные форсунки с внешним смешением
  - центробежные двухкомпонентные форсунки с внутренним смешением
  - однокомпонентные центробежные форсунки
  - струйные однокомпонентные форсунки

- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 Требуется разработать турбину ракетного двигателя, работающей на углеводородном горючем по открытой схеме, которая приводится в действие генераторным газом, получаемым с использованием основных компонентов топлива. Выберите оптимальное значение температуры газа, соответствующей температуре на входе в турбину?
- 1) 600-700 К
  - 2) 1500-1800 К
  - 3) 1100-1300 К
- № 2 При разработке схемы жидкостного ракетного двигателя схем с дожиганием генераторного газа и без дожигания в зависимости от вида генераторного газа, идущего на раскрутку турбины отличается оптимальное значение температуры на входе в турбину. Приведите соответствие вида генераторного газа, получаемого с использованием основных компонентов топлива, и оптимального значения температуры такого газа:
- А – Восстановительный газ  
Б – Окислительный газ
- 1 - 600-700 К
  - 2 - 1500-1800 К
  - 3 - 1100-1300 К
- № 3 Подберите экологически безопасный аналог монотоплива, используемого на борту космического аппарата:
- АТ
  - Керосин
  - Гидразин
  - Перекись водорода
- № 4 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:
- 8Д44
  - РД-107
  - НК-33
  - РД-253
  - 5Д67
- № 5 Какой тип турбины является оптимальным для открытой турбонасосной схемы подачи?
- Высокоперепадная, активная
  - Низкоперепадная, реактивная
  - Высокоперепадная, реактивная
  - Низкоперепадная, активная
- № 6 Какой тип турбины является оптимальным для закрытой турбонасосной схемы подачи?
- Высокоперепадная, активная
  - Низкоперепадная, реактивная
  - Высокоперепадная, реактивная
  - Низкоперепадная, активная
- № 7 Опишите последовательность разработки жидкостной двигательной установки.

- А Обоснование типа и основных рабочих параметров двигательной установки с целью создания пневмогидросхемы изделия;  
Б Расчёт основных элементов системы питания жидкостного ракетного двигателя;  
В Расчёт, проектирование, конструирование основного агрегата, определяющего тягу
- № 8 При разработке ракетного двигателя, работающего по закрытой схеме (с дожиганием генераторного газа в камере сгорания), какую схему турбонасосного агрегата (ТНА) целесообразно использовать чтобы обеспечить минимальные массо-габаритные размеры ТНА?
- с консольным расположением активной турбины
  - с центральным расположением реактивной турбины
  - с консольным расположением реактивной турбины
- № 9 Какой из перечисленных агрегатов ракетного комплекса на самовоспламеняющихся компонентах топлива является лишним?
- Камера сгорания
  - Газогенератор
  - Реактивная газовая турбина
  - Блок рулевых камер
  - Блок пирозажигающих устройств
- № 10 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