


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

  
Юнаков Л. П.  
(подпись) ФИО  
« 31 » 05 20 22

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

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	
4	7	4	144	102	68	0	34	42	0	0	42	ЭКЗ.
4	8	3	108	34	0	0	34	74	36	0	38	зач.
ВСЕГО		7	252	136	68	0	68	116	36	0	80	

*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: 2022

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ

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



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**

## **РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

### **Разделы рабочей программы**

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

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

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

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-1 — способность разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на ракетно-космическую технику и их составные элементы
ПСК-2 — способность разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) жидкостных ракетных двигателей и их составных элементов
ПСК-7 — способность выполнять научно-исследовательские работы и разрабатывать отчёты в обеспечении создания перспективных конкурентоспособных двигательных установок и их составных элементов на основе жидкостных ракетных двигателей

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-1**

*знания:*

- основные теоретические и практические понятия и сведения, которые относятся к расчету и проектированию камер ракетных двигателей;
- общие вопросы теории организации рабочих процессов в камерах ракетных двигателей;
- основные факторы, влияющие на конструкцию камер РД;

*умения:*

- разрабатывать конструкторскую документацию;

### **ПСК-2**

*знания:*

- связь основных энергетических параметров ракетного двигателя;
- общие вопросы теории организации рабочих процессов в камерах ракетных двигателей;;

*умения:*

- анализ факторов, влияющих на выбор типа и формы камер РД;

*навыки:*

- разработки различных вариантов конструкции камер РД.

### **ПСК-7**

*знания:*

- существующие типы и формы камер РД, их достоинства и недостатки;

*умения:*

- определять термогазодинамические, массогабаритные и энергетические характеристики камеры ракетного двигателя;

*навыки:*

- проведение расчетов системы охлаждения камеры ракетного двигателя;
- проведения термогазодинамических, массогабаритных и энергетических характеристик камер ракетного двигателя.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.05.02 *Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ, ТЕОРИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-4 — Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-6 — Способен осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-7 — Способен критически и системно анализировать достижения отрасли двигателестроения и энергетической техники и способы их применения в профессиональном контексте
- ПСК-6 — Способен проводить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующей ракетно-космической техники и их элементов
- 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 7 з.е., 252 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	ПСК-2	ПСК-7
4	7	<b>Раздел 1. Связь схемного решения двигателя и внутрикамерных процессов.</b> 1.1. Общие положения связи внутрикамерных процессов и схемы двигательной установки. Стадии процесса преобразования топлива. 1.2. Кинетическое и диффузионное горение. Кривые преобразования и кривые выгорания.	6	4	4	0	2	5	0	5
4	7	<b>Раздел 2. Впрыск компонентов топлива.</b> 2.1. Классификация способов впрыска и распыливания. 2.2. Струйные форсунки (однокомпонентные для сжимаемой и несжимаемой жидкости, двухкомпонентные газожидкостные форсунки). 2.3. Центробежные форсунки (однокомпонентные и двухкомпонентные). 2.4. Регулируемые форсунки. Особенности расчета и проектирования.	36	26	12	14	10	5	15	5
4	7	<b>Раздел 3. Распыление и дробление топлива.</b> 3.1. Физические основы первичного дробления. Количественная оценка параметров первичного дробления. Спектры распыливания. 3.2. Физические основы вторичного дробления. Количественная оценка параметров вторичного дробления.	18	12	6	6	6	5	15	5
4	7	<b>Раздел 4. Процессы прогрева и испарения капель.</b> 4.1. Особенности испарения в условиях теплонапряженных конструкций. Основные соотношения тепломассообмена. 4.2. Распределение тепла, получаемого каплей. Определение максимальной температуры капли. 4.3. Оценка времен испарения и прогрева капли. 4.4. Теплообменные формулы при условии движения капли.	10	8	8	0	2	15	10	5
4	7	<b>Раздел 5. Смесеобразование и организация рабочего процесса в камере сгорания РД.</b> 5.1. Сущность процесса смесеобразования. Требования к системе смесеобразования. Смесительный элемент. Основные понятия об устойчивости процессов в КС. 5.2. Компоновка форсуночных головок различных схем. 5.3. Определение геометрических параметров камер. Формы камер сгорания. 5.4 Приближенное определение величины расходного комплекса (геометрический и вероятностный способы). Аналитический расчет начального смесеобразования. Методика расчета камер сгорания.	26	18	12	6	8	15	15	10
4	7	<b>Раздел 6. Рабочие процессы в газогенераторах.</b> 6.1. Особенности процессов в восстановительных и окислительных газогенераторах. Расчет параметров ГГ различных типов.	6	4	4	0	2	10	15	5
4	7	<b>Раздел 7. Особенности рабочих процессов в ВРД.</b> 7.1. Ламинарное и турбулентное распространение пламени, его характеристики и особенности. Объемное горение однородной смеси. Стабилизация процесса горения. 7.2. Основы организации рабочего процесса в ГТУ и ВРД. Характеристики работы камер сгорания. Методика расчета камер сгорания.	8	6	6	0	2	5	15	10
4	7	<b>Раздел 8. Теплообмен в ракетных двигателях.</b> 8.1. Особенности и условия теплообмена в камерах РД. Способы организации защиты стенок РД. Влияние на температуру стенок различных факторов. Общая схема теплообмена в РД. 8.2. Конвективный теплообмен. Общие положения. Интегральные соотношения в пограничном слое. Методика В.М.Иевлева, расчета пограничных слоев; Определение конвективного теплового потока. Пересчет тепловых потоков. 8.3. Лучистый теплообмен в камере РД. Особенности лучистого теплообмена. Расчет лучистых тепловых потоков при наличии и отсутствии пристеночного слоя. 8.4. Теплопередача к охлаждающей жидкости. Основные закономерности теплопередачи к охлаждающей жидкости. Интенсификация теплообмена в охлаждающем тракте. 8.5. Общая методика расчета охлаждения камер ракетных двигателей.	34	24	16	8	10	10	15	25
<b>Всего за 7 семестр</b>			144	102	68	34	42	70	100	70
4	8	<b>Раздел 9. Дополнительные способы защиты стенок камеры двигателя.</b> 9.1. Термостойкие покрытия. 9.2. Аблярующие покрытия. 9.3. Емкостное охлаждение. 9.4. Наружное радиационное охлаждение.	66	22	0	22	44	15	0	15
4	8	<b>Раздел 10. Завесное охлаждение.</b> 10.1. Методы и способы организации завесного охлаждения. Методики расчета. Эффективность завесного охлаждения.	42	12	0	12	30	15	0	15
<b>Всего за 8 семестр</b>			108	34	0	34	74	30	0	30
<b>Всего по дисциплине</b>			252	136	68	68	116	100	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Впрыск компонентов топлива.	Определение параметров струйной форсунки.	6
2		Определение параметров центробежной	8

		форсунки.	
3	Раздел 3. Распыление и дробление топлива.	Количественная оценка параметров первичного и вторичного дробления.	6
4	Раздел 5. Смесеобразование и организация рабочего процесса в камере сгорания РД.	Геометрический способ определения величины ожидаемого расходного комплекса.	6
5	Раздел 8. Теплообмен в ракетных двигателях.	Общая методика расчета охлаждения камер ракетных двигателей.	8
<b>Всего за 7 семестр</b>			34
6	Раздел 9. Дополнительные способы защиты стенок камеры двигателя.	Термостойкие и аблирующие покрытия камер РД.	12
7		Емкостное и наружное радиационное охлаждение камер РД.	10
8	Раздел 10. Завесное охлаждение.	Организация завесного охлаждения камер РД.	12
<b>Всего за 8 семестр</b>			34

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Связь схемного решения двигателя и внутрикамерных процессов.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	2
2	Раздел 2. Впрыск компонентов топлива.	Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	2
3		Проработка материалов практических занятий	8
4	Раздел 3. Распыление и дробление топлива.	Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	2
5		Проработка материалов практических занятий	4
6	Раздел 4. Процессы прогрева и испарения капель.	Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	2
7	Раздел 5. Смесеобразование и организация рабочего процесса в камере сгорания РД.	Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	2
8		Проработка материалов практических занятий	6
9	Раздел 6. Рабочие процессы в газогенераторах.	Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	2
10	Раздел 7. Особенности рабочих процессов в ВРД.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	2
11	Раздел 8. Теплообмен в ракетных двигателях.	Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	10
Всего за 7 семестр			42
12	Раздел 9. Дополнительные способы защиты стенок камеры двигателя.	Выполнение этапов курсового проекта	24
13		Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	20
14	Раздел 10. Завесное охлаждение.	Выполнение этапов курсового проекта	12
15		Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	18
Всего за 8 семестр			74

### 3.4. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД	ПЛАНИРУЕМОЕ
------------------	--------	-------------

	ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Выбор и обоснование ПГС. Балансовый расчет	1 - 2	4
Этап 1. Расчеты проходных сечений и газодинамического профиля камеры двигателя, включая оптимизацию сопла по минимуму потерь.	2 - 4	4
Этап 1. Расчеты системы смесеобразования.	4 - 5	4
Этап 2. Расчет охлаждения камеры двигателя	5 - 7	6
Этап 2. Определение ожидаемых значений, сопоставление их с принятыми при определении расходов компонентов. Корректировка расчетов в случае необходимости	7 - 8	3
Этап 2. Прочностные расчеты корпуса камеры двигателя и блока форсуночной головки, узлов крепления и стыковочных узлов.	8 - 10	3
Этап 2. Расчет дроссельной и высотной характеристик, определение массогабаритных характеристик камеры двигателя.	10 - 12	2
Этап 2. Графическая часть КП состоит из: 1) ПГС ЖРД (I лист ф.А1); 2) чертеж общего вида камеры двигателя (2 листа ф. А1)	12 - 15	10
<b>Всего за 8 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
7		Колл	Тест		Вопр. Экз, КП	ДР		Вопр. Экз	КП	ДР	Колл	Колл		Вопр. Экз, Вопр. Зач		ДР	КП, Тест
8					КП	ДР			КП	ДР				Вопр. Зач	КП	ДР	зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Колл – коллоквиум;
- Тест – тест;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену;
- КП – курсовой проект;
- Вопр. Зач – вопросы к зачету;
- зач. – зачет.

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

- диагностическая работа;
- коллоквиум;
- тест;
- вопросы к экзамену;
- курсовой проект;
- вопросы к зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен;
- зачет.



## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.
2. М. В. Добровольский. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2016, эл. рес.
3. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, эл. рес.
4. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 24 экз.
5. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, эл. рес.
6. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, 30 экз.

### 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;
2. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
3. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов..

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

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

### **6.2. Практические занятия:**

1. Плакаты принципиальных схем различных РД;
2. Плакаты с изображением конструктивных схем элементов РД общего и специального назначения;
3. Атлас конструкции ЖРД под ред. Глушко В.П.;
4. Препарированные натурные образцы отдельных элементов РД..

### **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 **РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению **24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей**. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-1 способность разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на ракетно-космическую технику и их составные элементы;

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

ПСК-7 способность выполнять научно-исследовательские работы и разрабатывать отчёты в обеспечении создания перспективных конкурентоспособных двигательных установок и их составных элементов на основе жидкостных ракетных двигателей.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с внутрикамерными процессами, протекающими в ракетных двигателях. Изучаются процессы впрыска, распыления и дробления компонентов топлива, прогрев и испарение образовавшихся капель, процессы смесеобразования, рассматриваются особенности процессов горения в ЖРД, ВРД, а также колебания в камерах сгорания. Большое внимание уделяется вопросам охлаждения теплонапряженных элементов конструкции камер ракетных двигателей.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- коллоквиум;
- тест;
- вопросы к экзамену;
- курсовой проект;
- вопросы к зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен;
- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **7 з.е., 252 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**68 ч.**), практические занятия (**68 ч.**), самостоятельная работа студента (**116 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 252 ч., из них 136 ч. аудиторных занятий, и 116 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. Связь схемного решения двигателя и внутрикамерных процессов.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1,8,9)	2
Итого по разделу 1		2
<b>Раздел 2. Впрыск компонентов топлива.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (3)	2
Проработка материалов практических занятий	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (2)	8
Итого по разделу 2		10
<b>Раздел 3. Распыление и дробление топлива.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (2)	2
Проработка материалов практических занятий		4
Итого по разделу 3		6
<b>Раздел 4. Процессы прогрева и испарения капель.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (2)	2
Итого по разделу 4		2
<b>Раздел 5. Смесеобразование и организация рабочего процесса в камере сгорания РД.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	М. В. Добровольский. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2016 (3)	2
Проработка материалов практических занятий	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (5)	6
Итого по разделу 5		8
<b>Раздел 6. Рабочие процессы в газогенераторах.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (3,5)	2
Итого по разделу 6		2

<b>Раздел 7. Особенности рабочих процессов в ВРД.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (3)	2
Итого по разделу 7		2
<b>Раздел 8. Теплообмен в ракетных двигателях.</b>		
Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (4) Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1-6)	10
Итого по разделу 8		10
<b>Раздел 9. Дополнительные способы защиты стенок камеры двигателя.</b>		
Выполнение этапов курсового проекта	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (7)	24
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (4)	20
Итого по разделу 9		44
<b>Раздел 10. Завесное охлаждение.</b>		
Выполнение этапов курсового проекта	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (4)	12
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (8)	18
Итого по разделу 10		30

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- коллоквиум;
- вопросы к экзамену;
- тест;
- вопросы к зачету;
- курсовой проект;
- зачет;
- 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.

#### Коллоквиум

Проходит в форме ответов обучающихся на вопросы преподавателя. При ответе на вопросы оценивается полнота и правильность ответов. Вопросы коллоквиума размещены в УМК дисциплины.

#### Вопросы к экзамену

1. Способы распиливания жидкостей.
2. Общие понятия о струйных форсунках.
3. Расчет струйной форсунки для несжимаемой жидкости.
4. Расчет струйной форсунки для сжимаемой жидкости.
5. Расчет двухкомпонентных струйных форсунок.
6. Определение  $W_a$  для центробежной форсунки.
7. Анализ коэффициента расхода центробежной форсунки.
8. Угол распыла центробежной форсунки.
9. Двухкомпонентные центробежные форсунки внешнего смещения.
10. Двухкомпонентные центробежные форсунки внешнего смещения.
11. Первичное дробление: общие понятия.
12. Первичное дробление: спектры распиливания.
13. Вторичное дробление: скорость деформации и торможение капли в потоке.
14. Общие закономерности теплообмена капли в потоке газа.
15. Общие понятия внутрикамерной неустойчивости.
16. Ламинарное и турбулентное горение воздушно-газовой смесей.
17. Статический метод определения рож.
18. Вероятностный способ определения  $K_{ш}$  и  $g$ .
19. Формы камер сгорания.
20. Определение кривой выгорания при определяющем процессе «испарения».
21. Смесительный элемент. Типы смесительных элементов.
22. Принцип компоновки форсуночной головки для схемы «Г+Г».
23. Принцип компоновки форсуночной головки для схемы «Г+Ж».
24. Принцип выбора числа камер в ДУ.
25. Определение длины камеры сгорания.
26. Определение диаметра камеры сгорания.
27. Принципы компоновки форсуночных головок для «Ж+Ж».
28. Геометрический способ определения  $K_{п}$  и  $g$ .
29. Построение зависимости  $p=p(a)$  при  $a=var$ .
30. Общие принципы первоначального смесеобразования.
31. Аналитический расчет процессов на начальном участке камеры сгорания.
32. Определение диаметра камеры сгорания.
33. Наружное радиационное охлаждение.

34. Емкостное охлаждение.
35. Определение конвективного теплового потока.
36. Влияние числа  $Pr$  на теплообмен.
37. Исходные уравнения газодинамической теории теплообмена.
38. Пересчет тепловых потоков.
39. Определение лучистого теплового потока от газа в стенку.
40. Сведение интегрального соотношения энергии к квадратурам.
41. Интегральные соотношения импульсов и энергий.
42. Термостойкие покрытия.
43. Определение постоянной интегрирования в выражении для  $Z$
44. Общая схема теплообмена в РД.
45. Способы интенсификации теплообмена в охлаждающем тракте.
46. Принципы завесного охлаждения.
47. Меры замыкания системы интегральных соотношений.
48. Условия работы внутренних стенок и факторы, влияющие на величину тепловых потоков.

### **Тест**

Тест включает в себя вопросы с выбором правильного ответа. Тест считается сданным при правильном выборе ответа не менее чем на 7 вопросов. Тестовое задание размещено в УМК дисциплины.

### **Вопросы к зачету**

1. Диффузионное и кинетическое горение
2. Кривые преобразования и кривая выгорания топлива
3. Однокомпонентные струйные форсунки для несжимаемой жидкости
4. Однокомпонентная струйная форсуна для сжимаемой жидкости
5. Двухкомпонентные газо-жидкостные струйные форсунки
6. Физическая картина работы центробежной форсунки
7. Определение расхода через центробежную форсунку
8. Влияние конструктивных факторов на работу центробежной форсунки
9. Двухкомпонентные центробежные форсунки с внешним смещением
10. Двухкомпонентные форсунки с внутренним смещением
11. Регулируемые форсунки
12. Физические основы процесса распыла
13. Спектры распыливания капель по диаметрам
14. Физические основы вторичного дробления
15. Скорость и время деформации капли
16. Торможение капли в потоке
17. Особенности условий испарения в ЖРД
18. Основные соотношения тепломассообмена
19. Общие теплообменные соотношения для капли
20. Оценка времени прогрева и испарения в условиях ЖРД
21. Ламинарное распространение пламени в однородной смеси
22. Турбулентное распространение пламени
23. Объемное горение однородной смеси
24. Стабилизация процесса горения
25. Понятие о колебательных процессах в камерах двигателей
26. Смесительный элемент. Типы смесительных элементов
27. Компоновка головок ЖРД
28. Приблизительные определения  $\beta_{гол}$
29. Определение потерь на завесу
30. Давление в камере  $P_k$  и размеры камеры
31. Форма камер сгорания
32. Выбор числа камер в ДУ
33. Геометрический способ определения  $g$  и  $K_m$
34. Вероятностный метод определения соотношения компонентов
35. Однокаскадный восстановительный газогенератор
36. Двухкаскадные восстановительные газогенераторы
37. Однокаскадный окислительный газогенератор
38. Двухкаскадный окислительный газогенератор
39. Особенности внутрикамерных процессов в ГТУ и ВРД
40. Классификация камер сгорания ГТУ и ВРД
41. Наружное радиационное охлаждение.

42. Емкостное охлаждение.
43. Определение конвективного теплового потока.
44. Исходные уравнения газодинамической теории теплообмена.
45. Интегральные соотношения импульсов и энергий
46. Термостойкие покрытия.
47. Общая схема теплообмена в РД.
48. Способы интенсификации теплообмена в охлаждающем тракте.
49. Принципы завесного охлаждения.
50. Определение лучистого теплового потока от газа в стенку.

### **Курсовой проект**

Курсовой проект представляется в печатном виде в формате, соответствующим «Положению по содержанию, оформлению, организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ» БГТУ. СМК-П-4.2-12» от 24 ноября 2015 г.

Защита курсового проекта проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. При ответе на вопросы оценивается полнота и правильность ответов.

Оценка «удовлетворительно»: степень полноты ответа 40-60% по каждому вопросу.

Оценка «хорошо»: степень полноты ответа 60-80% по каждому вопросу.

Оценка «отлично»: степень полноты ответа более 80% по каждому вопросу.

Основаниями для снижения оценки за курсовой проект могут служить:

- небрежное выполнение,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках),
- незначительные ошибки, при ответах на теоретические вопросы.

Курсовой проект не может быть принят и подлежит переработке в случае:

- несоответствия заданию на курсовое проектирование;
- отсутствия необходимых разделов;
- отсутствия необходимого графического материала;
- некорректной обработки результатов вычислений;
- оформление не соответствует требованиям «Положению по содержанию, оформлению, организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ БГТУ. СМК- П-4.2-12» от 24 ноября 2015 г.

### **Зачет**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

Зачет проводится в форме ответов студента на вопросы к зачету, представленные в виде теста. Для получения оценки «Зачтено» необходимо правильно ответить более чем на 60 % вопросов.

### **Экзамен**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

В экзаменационном билете три вопроса. Оценивается полнота и правильность ответа по билету.

Оценка «удовлетворительно»: полнота ответа на вопросы билета: 50-70% по каждому вопросу.

Оценка «хорошо»: полнота ответа на вопросы билета: не менее 70% по каждому вопросу.

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

Билеты расположены в УМК дисциплины.



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	ПСК-2	ПСК-7	
4	7	Раздел 1. Связь схемного решения двигателя и внутрикамерных процессов.	6	4	4	0	2	5	0	5	Коллоквиум, Вопросы к экзамену
4	7	Раздел 2. Впрыск компонентов топлива.	36	26	12	14	10	5	15	5	Вопросы к экзамену
4	7	Раздел 3. Распыление и дробление топлива.	18	12	6	6	6	5	15	5	Вопросы к экзамену, Тест
4	7	Раздел 4. Процессы прогрева и испарения капель.	10	8	8	0	2	15	10	5	Вопросы к экзамену
4	7	Раздел 5. Смесеобразование и организация рабочего процесса в камере сгорания РД.	26	18	12	6	8	15	15	10	Вопросы к экзамену, Коллоквиум
4	7	Раздел 6. Рабочие процессы в газогенераторах.	6	4	4	0	2	10	15	5	Вопросы к экзамену, Коллоквиум
4	7	Раздел 7. Особенности рабочих процессов в ВРД.	8	6	6	0	2	5	15	10	Вопросы к экзамену
4	7	Раздел 8. Теплообмен в ракетных двигателях.	34	24	16	8	10	10	15	25	Вопросы к экзамену, Тест
Всего за 7 семестр			144	102	68	34	42	70	100	70	
4	8	Раздел 9. Дополнительные способы защиты стенок камеры двигателя.	66	22	0	22	44	15	0	15	Вопросы к зачету
4	8	Раздел 10. Завесное охлаждение.	42	12	0	12	30	15	0	15	Курсовой проект
Всего за 8 семестр			108	34	0	34	74	30	0	30	
Всего по дисциплине			252	136	68	68	116	100	100	100	