

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

Кафедра А3 «Космические аппараты и двигатели»  
(наименование)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по НР и ИР  
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова  
С.А. Матвеев  
2022 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Процесс горения химических ракетных топлив и методы его**  
**исследования**

Специальность: 2.5.15 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Санкт-Петербург  
2022 г.

# 1 Планируемые результаты обучения по дисциплине

Цель дисциплины - дать аспиранту знания, позволяющие с современных научных позиций рассмотреть подходы к описанию одного из наиболее важных процессов при функционировании ракетного двигателя - процесса горения топлива. Полученные знания призваны способствовать повышению уровня фундаментальной подготовки аспиранта и успешному завершению работы над диссертацией.

Основная задача дисциплины – привитие навыков в разработке описания сложных физико-химических процессов.

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих общепрофессиональных компетенций:

- владение методологией теоретических и экспериментальных в области авиационной и ракетно-космической техники;
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности экспериментальных в области авиационной и ракетно-космической техники с учетом соблюдения авторских прав .
- Дисциплина вносит вклад в формирование следующих профессиональных компетенций:
- способностью собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области ракетно-космической техники и технологии;
- способностью и готовностью с помощью компьютерной техники планировать и проводить научные эксперименты, обрабатывать, анализировать и оценивать результаты исследований, способностью с помощью компьютерной техники обрабатывать, анализировать, синтезировать и критически резюмировать информацию;
- способностью и готовностью разрабатывать математические модели, описывающие процессы, происходящие в разрабатываемых ракетно-космических комплексах, выбирать методы их решений и анализировать полученные результаты;
- способностью и готовностью применить на практике алгоритмические языки, уметь разрабатывать и отлаживать программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) студенты будут

**знать:**

- теоретические основы равновесной и неравновесной термодинамики;
- методы экспериментального исследования процесса горения;
- современные приемы создания математических моделей.

**уметь:**

- использовать расчетные методы для определения характеристик продуктов сгорания;
- разрабатывать модели различного уровня явлений, составляющих процесс горения.

**владеть:**

- навыками создания и использования программных средств для изучения процесса горения химического топлива;
- навыками разработки методик экспериментального исследования процесса горения.

**приобретут опыт деятельности:**

- по изучению процесса горения;
- по обобщению экспериментального материала о различных проявлениях процесса горения.



Примечание: ЛЗ – лекционное занятие, ПЗ – практические занятия, ИЛЗ – исследовательские лабораторные занятия работа, С – семинары, К – индивидуальные консультации; СР – самостоятельная работа обучающихся;

### 3.3 Тематика аудиторных занятий

Тематика лекционных занятий

Таблица 3

№ раздела	№ лекции	Основное содержание	Кол-во часов	Литература
1	1	Цели задачи курса. Общая характеристика химических топлив и процесса горения. Тепловая природа процесса горения. Характеристики (кинетические и энергетические) процесса горения и их влияние на качество ракетного двигателя.	2	[5], [9]
2	2	Законы термодинамики применительно к химически реагирующим системам.	1	[3]
2	3	Математические модели формирования свойств продуктов сгорания.	2	[3]
2	4	Определение коэффициентов переноса равновесной смеси продуктов сгорания.	2	[1]
3	5	Линейное приближение: условия использования линейных феноменологических законов. Соотношения взаимности Онзагера.	1	[8]
3	6	Проблемы устойчивости слабо и сильно неравновесных систем. Диссипативные структуры и их роль в процессах тепломассопереноса.	1	[8]
4	7	Методики экспериментального определения кинетических характеристик процесса горения.	1	[5]
4	8	Методики экспериментального определения полноты сгорания топлива. Методики экспериментального определения свойств продуктов сгорания.	1	[5]
5	10	Принципы регрессионного анализа.	1	[8]
5	11	Метод самоорганизации. Роль и место формальных математических моделей при описании процесса горения ракетных топлив.	1	[8]
6	12	Модель горения гомогенного твердого топлива.	1	[1], [6], [7]
6	13	Модель горения гетерогенного твердого топлива (инертное связующее).	1	[1], [6], [7]
6	14	Модель горения гетерогенного твердого топлива (активное связующее).	1	[1], [6], [7]
6	15	Модель горения капли горючего в активном газовом потоке (жидкое горючее).	2	[5]
6	16	Модель горения капли горючего в активном газовом потоке (частица металла).	1	[5]
6	17	Модель формирования конденсированных продуктов сгорания.	1	[1]
Итого:			27	

#### 4. Перечень заданий для самостоятельной работы\*

Программой дисциплины выдача заданий для самостоятельной работы не предусмотрена.

#### 5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по дисциплине

Оценка качества освоения дисциплины включает текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию в форме зачета

##### 5.1 Текущий контроль успеваемости по дисциплине

Контрольные мероприятия текущего контроля

Таблица 8

Вид контрольного мероприятия	Наименование	Срок проведения (№ недели)	Контролируемый объем (№№ разделов)
Устный опрос	Защита ПЗ № 1 - 4	8	2-4
Устный опрос	Защита ПЗ № 5-8	16	5-6

##### 5.2 Оценочные средства промежуточной аттестации

Для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине образован фонд оценочных средств в виде контрольных вопросов.

Примерные контрольные вопросы:

1. Тепловая природа процесса горения.
2. Характер изменения термодинамических функций в процессе горения.
3. Принципы термодинамического расчета параметров продуктов сгорания.
4. Принципы определения коэффициентов переноса.
5. Основы описания сильно и слабо неравновесных процессов.
6. Принципы экспериментального определения кинетических характеристик процесса горения.
7. Принципы экспериментального определения полноты сгорания топлива.
8. Принципы экспериментального определения состава продуктов сгорания топлива.
9. Принципы регрессионного анализа.
10. Алгоритм использования метода самоорганизации.
11. Особенности процесса горения гомогенных твердых топлив.
12. Особенности процесса горения гетерогенных твердых топлив.
13. Принципы моделирования процесса горения твердого топлива.
14. Принципы моделирования процесса горения капли горючего в активной газовой среде.



## 6.2 Дополнительная литература:

Таблица 10

№ п/п	Автор	Наименование	Издательство	Год издания
5	Ассовский И.Г.	Физика горения и внутренняя баллистика: учебное пособие для вузов	Наука	2005
6	Н. Г. Рогов, М. А. Ищенко	Смесеые ракетные твёрдые топлива. Компоненты. Требования. Свойства :учебное пособие для вузов	СПбГТИ (ТУ)	2005
7	Н. Г. Рогов, Ю. А. Груздев	Физико-химические свойства порохов и твёрдых ракетных топлив : учебное пособие для вузов	СПбГТИ (ТУ)	2005
8	Мелик-Гайказян И.В., Мелик-Гайказян М.В., Тарасенко В.Ф.	Методология моделирования нелинейной динамики сложных систем	Физматлит	2001
9	Editors Luigi T. DeLuca Toru Shimada Valery P. Sinditskii Max Calabro	Chemical Rocket Propulsion. A Comprehensive Survey of Energetic Materials	Springer	2017

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 Специализированные лаборатории (в том числе научные) и классы, основное учебное оборудование (комплексы, установки и стенды):

- специализированная аудитория ИСС, оснащенная компьютером, мультимедиапроектором, экраном;
- компьютерный класс кафедры ВЦ АЗ, оснащенный 16 персональными компьютерами, объединенными в локальную сеть кафедры, имеющую доступ к электронной библиотеке и выход в Интернет.

### 7.2 Средства обеспечения освоения дисциплины

- комплект слайдов по дисциплине;
- специализированное программное обеспечение: Mathcad, SolidWorks, КОМПАС.