

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 А8 «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

УТВЕРЖДАЮ

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



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

(Специальная дисциплина №1 по профилю научной подготовки аспиранта)

Специальность: 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки  
летательных аппаратов

Санкт-Петербург  
2022 г.

## **1. Цель изучения дисциплины**

Целью курса является формирование у студента системы знаний об электрофизических основах внутрикамерного процесса ракетных двигателей, базирующейся на фундаментальных представлениях о внутрикамерной параметрической неустойчивости рабочего процесса РД и обусловливаемой ею особенности состояний рабочего тела двигателей – низкотемпературной плазмы продуктов сгорания.

## **2. Задачи дисциплины**

формирование знаний о причинно-обуславливающих связях и механизмах взаимозависимости химических, термогазодинамических и электрофизических явлений в составе внутрикамерных процессов ракетных двигателей совокупно обеспечивающих преобразование химической энергии ракетного топлива в кинетическую энергию направленного поступательного движения сбрасываемого в окружающее пространство рабочего тела - низкотемпературной плазмы продуктов сгорания топлива;

формирование умений использовать математическое обеспечение моделей формирования электрофизических отображений рабочего процесса для обоснования их информативной и диагностической содержательности;

формирование знаниями о способах использования отображающей рабочий процесс электрофизической информации для диагностики качества рабочего процесса и физической работоспособности двигателя в целом.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы аспирантуры**

Дисциплина «Специальная дисциплина №1 по профилю научной подготовки аспиранта» (Электрофизические основы внутрикамерных процессов ракетных двигателей) относится к Образовательному компоненту 2.1.3 «Дисциплины (модули) по выбору» программы аспирантуры по специальности 2.5.15 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

## **4. Требования к результатам освоения дисциплины**

**В результате изучения дисциплины аспирант должен:**

**Знать:** модели, базовый состав и механизмы формирования базовых электрофизических характеристик, отображающих качественные характеристики внутрикамерного процесса ракетных двигателей и обосновывающих, таким образом, их информационную и диагностическую содержательность как в отношении качества рабочего процесса, так и в отношении физической работоспособности двигателя в целом

**Уметь:** использовать математическое обеспечение моделей формирования электрофизических отображений рабочего процесса для обоснования их информативной и диагностической содержательности

Владеть: методологией теоретических и экспериментальных исследований в области ракетно-космической техники;

### 5. Объем и вид учебной работы

Виды учебной работы	Трудоемкость (часы)		Семестры (указание часов по семестрам)
Аудиторные занятия (всего)	108		5
В том числе:			
Лекции	18		5
Практические занятия	27		5
Самостоятельная работа (всего)	54		5
Формы аттестации по дисциплине (зачет, экзамен)	зачет		5
Общая трудоемкость дисциплины	Часы	ЗЕТ	5
	108	3	

### 6. Содержание дисциплины

#### 6.1. Содержание раздела дисциплины

Содержание дисциплины	Основное содержание раздела
1. Внутрикамерный процесс. Элементы теории равновесной плазмы. Механизм формирования Электрофизических Отображений (ЭФО) внутрикамерных нестационарностей.	Внутрикамерный процесс. Параметрическая нестационарность. Рабочее тело РД - низкотемпературная плазма. Плазма. Общая характеристика. Параметры состояния. Уравнения связей параметров. Условия ионизационного равновесия плазмы. Характеристические параметры/ Трёхжидкостная плазменная модель как основа для описания состояния плазменной среды ПС в камере. Электрогазодинамическое описание состояния ПС в камере в условиях развитой внутрикамерной неустойчивости. Одномерное представление системы в виде, удобном для решения. Характер решения, результаты.
2. Двигательная электризация РД. Формирование ЭФО в потоках на стадии истечения ПС из камеры	Характеристика явления. Известные результаты исследований. Физическая модель механизма двигательной электризации. Математическое обеспечение. Результат исследований. Информационная и диагностическая содержательность электрофизической информации,



	регистрируемой измерениями в потоках в том числе и за срезом сопла. Экспериментальные исследования.
3. Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР).	Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР) материальных сред с содержанием нескомпенсированного электрического заряда в их составе. Анализ УВЭР. Зарядовый канал управления состояниями материальных сред. УВЭР как основа для углубления представлений о внутрикамерном процессе и изыскания дополнительных ресурсов для повышения эффективности РД, УВЭР как основа для изыскания ресурсов повышения характеристик РД

## 6.2. Контролируемые учебные элементы

Разделы дисциплины	Знать	Уметь	Владеть
1. Внутрикамерный процесс. Элементы теории равновесной плазмы. Механизм формирования Электрофизических Отображений (ЭФО) внутрикамерных нестационарностей.	модели, базовый состав и механизмы формирования базовых электрофизических характеристик, отображающих качественные характеристики внутрикамерного процесса ракетных двигателей и обосновывающих, таким образом, их информационную и диагностическую содержательность как в отношении качества рабочего процесса, так и в отношении физической работоспособности двигателя в целом	использовать математическое обеспечение моделей формирования электрофизических отображений рабочего процесса для обоснования их информативной и диагностической содержательности	методологией теоретических и экспериментальных исследований в области ракетно-космической техники
2. Двигательная электризация РД. Формирование ЭФО в потоках на стадии истечения ПС из камеры			
3. Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР).			

## 6.3. Разделы дисциплины и виды занятий

№ дисциплинарного модуля/раздела	Часы по видам занятий			Всего:
	Лекции	Практич. занятия	Сам. работа	
1. Внутрикамерный процесс. Параметрическая нестационарность. Рабочее тело РД - низкотемпературная плазма.	6	9	18	33
2. Двигательная электризация РД. Формирование ЭФО в потоках на	6	9	18	33

№ дисциплинарного модуля/раздела	Часы по видам занятий			Всего:
	Лекции	Практич. занятия	Сам. работа	
стадии истечения ПС из камеры				
3. Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР).	6	9	18	33
ИТОГО	18	27	54	99

**7. Ресурсное обеспечение.** (Кадровый потенциал, материально-техническое оснащение, образовательные технологии, формы, методы и способы обучения).

Кафедра А8 «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» располагает кадровыми ресурсами, гарантирующими качество подготовки аспиранта по научной специальности Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов в соответствии с ФГТ.

#### **7.1. Образовательные технологии**

Обучение по дисциплине ведется с применением метода активных лекций (лекция-гипотеза, лекция-дискуссия).

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационно-телекоммуникационные технологии:

1. Облачные хранилища данных.
2. Локальная сеть университета.
3. Глобальная сеть Интернет

#### **7.2. Материально-техническое оснащение.**

Кабинеты материальной части кафедры А8 «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

#### **7.3. Перечень лицензионного программного обеспечения:**

Microsoft Office

### **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

#### **8.1. Основная литература**

Добровольский, Мстислав Владимирович. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования [Текст] : учебник для вузов / М. В. Добровольский ; ред. Д. А. Ягодников. - 3-е изд., доп. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. - 460 с. : граф., схемы, табл., фот. - (Техническая физика и энергомашиностроение). - Об авторе: послед. с. обл. - Библиогр.: с. 447-449. - Предмет. указ.: с. 450-454. - Прил.: с. 455-458. - ISBN 978-5-7038-4145-7 (100 экз.)

2. Алемасов, Вячеслав Евгеньевич. Теория ракетных двигателей [Текст] : Учебник для ВУЗов / В. Е. Алемасов, А. Ф. Дрегаллин, А. П. Тишин; Ред. В. П. Глушко. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1989. - 464 с. : ил. - (Для вузов). - Библиогр.: с. 450 - 451. - Предметный указ. : с. 452 - 457. - ISBN 5-217-00358-8 (106 экз.)



3. Франк-Каменецкий, Давид Альбертович. Лекции по физике плазмы [Текст] : учебное пособие для вузов / Д. А. Франк-Каменецкий. - Изд. 2-е. - М. : Атомиздат, 1968. - 286 с. : граф. - Библиогр.: с. 279-280. - Указатель обознач.: с. 5-7. - Приложения: с. 267-278. - Предм. указ.: с. 281-283. - Задачи в конце гл.

4. Пинчук, Владимир Афанасьевич. Электрофизические отображения процессов в камерах тепловых энергопреобразователей [Текст] / В. А. Пинчук ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2008. - 124 с. : граф., схемы. - Библиогр. в конце разд. - Принятые обознач.: с. 5. - Приложение: с. 87-121. - ISBN 978-5-85546-410-8 (10 экз.)

5. Двигательная электризация как явление, отображающее развитие зарядовых неустойчивостей в потоках продуктов сгорания при истечении из камер РД в окружающее пространство [Текст] : отчет о НИР : № Р-0505. Теоретические исследования проблем создания и эксплуатации ракетной и космической техники специального назначения / БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова ; рук. нир В. А. Пинчук ; исполн. Ю. Н. Филимонов [и др.]. - СПб. : [б. и.], 2005. - 26 с. - КОПИРОВАНИЕ ЗАПРЕЩЕНО. - Библиогр.: с. 26.

6. Пинчук, Антон Владимирович. Шаровая молния: физические основы, концепция представлений [Текст] / А. В. Пинчук, В. А. Пинчук ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - АВТ. РЕД. - СПб. : [б. и.], 2011. - 98 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 69-70, 96. - Дополнит. титульн. лист, оборот титульн. листа на англ. яз. - Принят. обознач.: с. 9. - Прил.: с. 71-95. - ISBN 978-5-85546-591-4 (6 экз.)

### **8.1.1. Электронные учебные издания (учебники, учебные пособия).**

1. Добровольский, Мстислав Владимирович. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования [Электронный ресурс] : учебник для вузов / М. В. Добровольский ; ред. Д. А. Ягодников. - 3-е изд., доп. - Электрон. текстовые дан. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. - 1 с. - (ЭБС Айбукс). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/363907/reading> (дата обращения: 09.12.2020). - Текст: электронный.

2. Пинчук, Владимир Афанасьевич. Электрофизические отображения процессов в камерах тепловых энергопреобразователей [Электронный ресурс] / В. А. Пинчук ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2008. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы. - (ЭБС ВОЕНМЕХ). - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации \\lib\_server\elres\elr01258.pdf. - Библиогр. в конце разд. - Принятые обознач.: с. 5. - Приложение: с. 87-121. - ISBN 978-5-85546-410-8

3. Пинчук, Антон Владимирович. Шаровая молния: физические основы, концепция представлений [Электронный ресурс] / А. В. Пинчук, В. А. Пинчук ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2011. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - (ЭБС ВОЕНМЕХ). - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации \\lib\_server\elres\elr01642.pdf. - Библиогр.: с. 69-70, 96. - Дополнит. титульн. лист, оборот титульн. листа на англ. яз. - Принят. обознач.: с. 9. - Приложение: с. 71-95. - ISBN 978-5-85546-591-4

4. Пинчук, Владимир Афанасьевич. Физика реальных процессов с аномальными проявлениями: введение в проблему [Электронный ресурс] / В. А. Пинчук, А. В. Пинчук ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2016. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, фото. - (ЭБС ВОЕНМЕХ). - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации \\lib\_server\elres\elr02445.pdf. - Библиогр.: с. 135-139, 164-165. - Дополнит. титульн. лист на англ. яз. - Принят. обознач.: с. 5. - Прил.: с. 140-164. - ISBN 978-5-85546-935-6

#### 8.1.2. Электронные базы данных, к которым обеспечен доступ.

<https://ibooks.ru/> - ЭБС "Айбукс";  
<https://urait.ru> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов;  
<https://e.lanbook.com/book/> - ЭБС "Лань";  
<http://library.voenmeh.ru/jirbis2/> - Библиотека "ВОЕНМЕХ"

## 8.2. Дополнительная литература

1 Абрамович, Генрих Наумович. Прикладная газовая динамика [Текст] : в 2 ч. : Учебн. руководство для ВТУЗов / Г. Н. Абрамович. - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. - ISBN 5-02-014961-6. Ч. 1. - 600 с. : граф., портр, рис., табл. - Библиогр.: с. 590 - 592. - Приложения : с. 566 - 589. - Резюме на англ. яз. - Именной указ. : с. 593 - 594. - Предметный указ. : с. 594 - 597. - ISBN 5-02-014015-5 (2 экз.)

2 Абрамович, Генрих Наумович. Прикладная газовая динамика [Текст] : в 2 ч. : Учебн. руководство для ВТУЗов / Г. Н. Абрамович. - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. - ISBN 5-02-014961-6. Ч. 2. - 304 с. : граф., фото, рис., табл. - Библиогр.: с. 294 - 296. - Резюме на англ. яз. - Именной указ. : с. 297 - 298. - Предметный указ. : с. 298 - 301. - ISBN 5-02-014962-4(2 экз.)

#### 8.2.1. Литература для углубленного изучения, подготовки рефератов

1 Пинчук, Владимир Афанасьевич. Физика реальных процессов с аномальными проявлениями: введение в проблему [Текст] / В. А. Пинчук, А. В. Пинчук ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2016. - 169 с. : граф., схемы, фото. - Библиогр.: с. 135-139, 164-165. - Дополнит. титульн. лист на англ. яз. - Принят. обознач.: с. 5. - Прил.: с. 140-164. - ISBN 978-5-85546-935-6

## 9. Аттестация по дисциплине.

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

Текущий контроль успеваемости по дисциплине проводятся в сроки:

Вид контрольного мероприятия	Наименование	Срок проведения (№ недели)	Контролируемый объем (№№ разделов)
------------------------------	--------------	----------------------------	------------------------------------

Устный опрос	Внутрикамерный процесс. Параметрическая нестационарность. Рабочее тело РД - низкотемпературная плазма.	4	1
Устный опрос	Двигательная электризация РД. Формирование ЭФО в потоках на стадии истечения ПС из камеры	8	2
Устный опрос Реферат	Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР).	11	3

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

**10. Фонд оценочных средств по дисциплине** представлен в УМК дисциплины