

Министерство науки и образования РФ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и ИКТ

С.А. Матвеев

2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Электрофизические основы внутрикамерных процессов ракетных двигателей

(наименование дисциплины)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ:

24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника

(указывается код и наименование направления подготовки)

НАПРАВЛЕННОСТЬ ПОДГОТОВКИ:

05.07.02 Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

(указывается наименование направленности)

КВАЛИФИКАЦИЯ: Исследователь. Преподаватель-исследователь

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ: очная

ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ: зачет

Санкт-Петербург – 2018

1 Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

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.

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих общепрофессиональных компетенций:

- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области авиационной и ракетно-космической техники (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования в области авиационной и ракетно-космической техники, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области авиационной и ракетно-космической техники с учетом правил соблюдения авторских прав (ОПК-3);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-4).

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 (ПК-1);
- 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 (ПК-2);
- способностью принимать участие в фундаментальных и прикладных исследованиях по решению проблем, возникающих при проектировании и опытно-конструкторских разработках (ПК-3);
- способностью и готовностью разрабатывать математические модели, описывающие процессы, происходящие в разрабатываемых ракетно-космических комплексах, выбирать методы их решений и анализировать полученные результаты (ПК-5).

В результате освоения дисциплины (модуля) аспиранты будут:

знать:

- причинно-обуславливающих связях и механизмах взаимозависимости химических, термодинамических 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;

- 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;

- о способах использования отображающей рабочий процесс электрофизической информации для диагностики качества рабочего процесса и физической работоспособности двигателя в целом;

уметь:

- использовать математическое обеспечение моделей формирования электрофизических отображений рабочего процесса для обоснования их информативной и диагностической содержательности.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре программы аспирантуры

Дисциплина относится к базовым дисциплинам программы аспирантуры.

Трудоёмкость освоения дисциплины составляет две (2) зачётных единиц (з.е.) или 72 академических часа для очной и заочной форм обучения, в том числе 51/21 час аудиторных занятий и 21/51 час самостоятельной работы.

Изучение дисциплины опирается на знания, умения и навыки, приобретенные в предшествующих дисциплинах:

- математика;
- физика;
- химия;
- газовая динамика;
- процесс горения химических ракетных топлив и методы его исследования;
- теоретические основы структурно-параметрической оптимизации энергодвигательных систем космических аппаратов.

3. Виды учебной работы и тематическое содержание дисциплины (модуля)

3.1 Виды учебной работы

Таблица 1

Вид учебной работы	Трудоёмкость, акад. Час
Аудиторные занятия, в том числе:	51/21
Лекционные занятия (ЛЗ)	17/7
Научно-практические занятия (НПЗ)	17/7
Семинары (С)	
Исследовательские лабораторные работы (ИЛР)	
Индивидуальные консультации (К)	17/7
Самостоятельная работа (СР), в том числе:	21/51
Проработка материала лекций (ПМЛ)	11
Выполнение научно-исследовательских заданий	10/26
Подготовка рефератов (ПР)	11/25
Всего:	72/72

3.2. Содержание дисциплины (модуля) по разделам и видам учебной работы

Таблица 2

Таблица 2									
№ п/п	Раздел дисциплины (модуля)	Трудоемкость по видам учебной работы (час.)							Формы самостоятельной работы ^{*)}
		всего	очная форма обучения						
			ЛЗ	НПЗ	ИЛР	С	К	СР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Внутрикамерный процесс. Параметрическая нестационарность. Рабочее тело РД - низкотемпературная плазма.	2	2/1	1/1			0,5/1	1/7	ПМЛ-0,5 ПНПЗ-0,25 ПР-0,25
2	Элементы теории равновесной плазмы.	2	2/1	2/1			1,5/1	2/7	ПМЛ-1 ПНПЗ-0,5 ПР-0,5
3	Механизм формирования Электрофизических Отображений (ЭФО) внутрикамерных нестационарностей. Зарядовая неустойчивость.	3	3/1	3/1			2/1	4/7	ПМЛ-1 ПНПЗ-2 ПР-1
4	Двигательная электризация РД	2	2/1	2/1			3/1	3/7	ПМЛ-1 ПР-2
5	Формирование ЭФО в потоках на стадии истечения ПС из камеры сгорания в ОП. Информационная и диагностическая содержательность отображающей внутрикамерный процесс электрофизической информации.	4	4/1	5/1			4/1	5/8	ПМЛ-1 ПНПЗ-2 ПР-2
6	Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР). Зарядовый канал управления состояниями материальных сред.	2	2/1	3/1			4/1	5/8	ПМЛ-1 ПНПЗ-1 ПР-3
7	Электрофизика внутрикамерных процессов как базовая основа для углубления представлений о внутрикамерном процессе и изыскания дополнительных ресурсов для повышения эффективности РД.	2	2/1	1/1			2/1	1/7	ПР-1
	Итого:	17/7	17/7	17/7			17/7	21/51	

Примечание: ЛЗ – лекционное занятие, НПЗ – научно-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

№ раз-дела	№ лек-ции	Основное содержание	Кол-во ча-сов	Литература
1	1, 2	Внутрикамерный процесс. Параметрическая нестационарность. Рабочее тело РД - низко-температурная плазма.	2/1	[1]
2	3	Плазма. Общая характеристика. Параметры состояния. Уравнения связей параметров	1/1	[2]
	4	Условия ионизационного равновесия плазмы. Характеристические параметры	1	[2]
3	5	Трёхжидкостная плазменная модель как основа для описания состояния плазменной среды ПС в камере	1	[4]
	6	Электрогазодинамическое описание состояния ПС в камере в условиях развитой внутрикамерной неустойчивости	1	[4]
	7	Одномерное представление системы в виде, удобном для решения. Характер решения, результаты.	1	[4]
4	8	Двигательная электризация РД. Характеристика явления. Известные результаты исследований	1/1	[3]
	9	Физическая модель механизма двигательной электризации. Математическое обеспечение. Результат исследований.	1	[2]
5	10	Формирование ЭФО в потоках на стадии истечения ПС из камеры. Физическая модель. Электрогазодинамическое описание.	1/1	[2]
	11	Характер решения. Результаты.	1/1	[2]
	12	Информационная и диагностическая содержательность электрофизической информации регистрируемой измерениями в потоках в том числе и за срезом сопла	1	[2]
	13	Экспериментальные исследования	1	[2]
6	14	Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР) материальных сред с содержанием нескомпенсированного электрического заряда в их составе.	1/1	[2]
	15	Анализ УВЭР. Зарядовый канал управления состояниями материальных сред.	1	[2]
7	16	УВЭР как основа для углубления представлений о внутрикамерном процессе и изыскания дополнительных ресурсов для повышения эффективности РД.	1	[2],[3]
	17	УВЭР как основа для изыскания ресурсов повышения характеристик РД	1/1	[2],[3]
Итого:			17/7	

Тематика научно – практических занятий

Таблица 4

№ раз-дела	№ занятия	Наименование	Кол-во часов	Литература
1	1	Внутрикамерный процесс. Параметрическая нестационарность. Рабочее тело РД - низкотемпературная плазма.....	1	[1]
2	2, 3	Условия ионизационного равновесия плазмы. Характеристические параметры	2	[2]
3	4, 5	Электрогазодинамическое описание состояния ПС в камере в условиях развитой внутрикамерной неустойчивости. Представление системы в виде, удобном для решения	2/2	[4]
	6, 7	Общее представление системы. Конструирование разностной схемы. Формирование обеспечений для решения схемы методом Ньютона. Условие замыкания.	2/1	[4]
	8	Решение схемы. Зарядовая неустойчивость	1	[4]
6	9, 10, 11	Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР). Зарядовый канал управления состояниями материальных сред.	3/1	[2]
	12,13,14	Фундаментальная значимость УВЭР. УВЭР – основа формирования модели шаровой молнии	3/1	[2]
7	15,16,17	Энергетические и эксплуатационные характеристики РД. Ресурсы повышения	3/2	[2],[3]
		Итого:	17/7	

Тематика исследовательских лабораторных занятий

Программой дисциплины практические лабораторные занятия не предусмотрены.

3.4 Перечень занятий, проводимых в активной и интерактивной формах

Программой дисциплины занятия, проводимые в активной и интерактивной форме, не предусмотрены.

4. Перечень заданий для самостоятельной работы

Таблица 5

Задания	Срок выдачи (№ недели)	Срок сдачи (№ недели)	Номера разделов дисциплины (модуля)
Подготовка рефератов	2-4	9-12	1-7

Примерные темы рефератов:

1. Продукты сгорания в камере – низкотемпературная плазма. Условия равновесия. Параметры состояния.
2. Трёхжидкостная плазменная модель. Параметры состояния. Уравнения связей параметров. Условия равновесия (уравнение Саха) в форме представлений трёхжидкостной плазменной модели.
3. Двигательная электризация. Обзор модельных представлений и результатов эксперимента.
4. Условия внутреннего энергетического равновесия сред в состоянии с избыточным электрическим зарядом (УВЭР).
5. Электрогазодинамическое описание состояний плазменной среды ПС в камере. Представление системы в виде, удобном для решения.
6. Зарядовая неустойчивость как механизм, подпитывающий внутрикамерную неустойчивость.
7. Общий алгоритм решения электрогазодинамической системы, описывающей состояние среды ПС в камере в условиях развитой внутрикамерной неустойчивости.
8. Фундаментальный характер УВЭР. УВЭР как основа для формирования представлений о шаровой молнии.
9. УВЭР как основа для изыскания дополнительных ресурсов повышения эксплуатационных и технико-энергетических характеристик РД.

5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по дисциплине

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

5.1 Текущий контроль успеваемости по дисциплине

Контрольные мероприятия текущего контроля

Таблица 6

Вид контрольного мероприятия	Наименование	Срок проведения (№ недели)	Контролируемый объем (№№ разделов)
Устный опрос	Элементы теории равновесной плазмы	2	1-2
	Механизм формирования электрофизических отображений внутрикамерного процесса РД	5	3
	Формирование электрофизических отображений в потоках ПС при истечении	7-8	4-5

	Зарядовая неустойчивость. Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР) с учётом наличия в составе среды избыточного заряда	10	6
	Зарядовый канал управления состояниями материальных сред	11	5-7

5.2 Оценочные средства промежуточной аттестации

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

Примерные контрольные вопросы:

1. Плазма. Параметры состояния. Равновесная плазма
2. Условие ионизационного равновесия плазмы
3. Трёхжидкостная плазменная модель. Параметры состояния. Система связей параметров.
4. Условия ионизационного равновесия в рамках представлений трёхжидкостной плазменной модели.
5. Физическая модель формирования электрофизических отображений внутрикамерного процесса РД.
6. Физическая модель двигательной электризации.
7. Зарядовая неустойчивость. Формы проявления зарядовой неустойчивости.
8. Условия внутреннего энергетического равновесия сред с учётом наличия избыточного заряда в их составе (УВЭР). Особенности УВЭР.
9. Электрогазодинамическое описание состояний низкотемпературной плазмы ПС в камере (трёхжидкостная модель) в одномерном представлении.
10. Уравнение движения электронной компоненты в форме, удобной для решения.
11. Уравнение движения ионной компоненты в форме, удобной для решения.
12. Среднемассовая скорость среды ПС в форме, удобной для решения.
13. Среднемассовая плотность среды ПС в форме, удобной для решения.
14. Уравнение неразрывности потока трёхжидкостной среды в форме, удобной для решения.
15. Уравнение сохранения заряда в составе трёхжидкостной плазменной среды в форме, удобной для решения.
16. Электрогазодинамическое описание состояния низкотемпературной плазмы ПС на стадии истечения из камеры. Общий алгоритм решения.
17. Условия внутреннего энергетического равновесия сред в состоянии с избыточным электрическим зарядом.
18. Информационная и диагностическая содержательность электрофизических отображений внутрикамерного процесса РД.

5.3. Образовательные технологии по дисциплине

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

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

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Основная литература:

Таблица 6

№ п/п	Автор	Наименование	Издательство	Год издания*
1	Добровольский М.В.	Жидкостные ракетные двигатели	М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана	2016
2	В.А. Пинчук	Электрофизические отображения процессов в камерах тепловых энергопреобразователей	Санкт-Петербург: Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ»	2008
3	А.В., Пинчук, В.А. Пинчук	Шаровая молния: физические основы, концепция представлений	Санкт-Петербург: Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ»	2011

6.2 Дополнительная литература:

Таблица 7

№ п/п	Автор	Наименование	Издательство	Год издания
1	Морозов А.И.	Введение в плазмогазодинамику	М.: ФИЗМАТЛИТ	2006.

6.3 Электронные (образовательные, информационные, справочные, нормативные и т.п.) ресурсы:

1. В.А.Пинчук. Электронный ресурс по дисциплине «Электрофизические отображения ракетных двигателей». Санкт-Петербург. БГТУ «ВОЕНМЕХ». 2015.