

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:

05.07.05 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

(указывается наименование направленности)

КВАЛИФИКАЦИЯ: Исследователь. Преподаватель-исследователь

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ: очная

ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ: зачет

Санкт-Петербург – 2018

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

/оборотная сторона титульного листа/

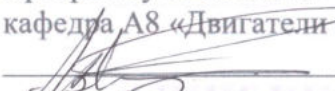
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника»

(указывается индекс и наименование направления/специальности)

Программу составили:

кафедра А8 «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

 Пинчук В.А., профессор, д.т.н., профессор

Эксперт(ы):

«__» _____ 2018 г. профессор кафедры «Ракетные двигатели»

ФГБОУ ВО «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)», Козлов А.А., д.т.н., профессор /



(подпись)

Программа рассмотрена на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы кафедры А8 «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

(индекс и наименование кафедры-разработчика рабочей программы)

«__» ____ 2018 г. Заведующий кафедрой А8 Левихин АА., к.т.н, доцент/

(Ф.И.О., уч.степень, уч.звание) (подпись) 

Рабочая программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и специальностей подготовки (УМК по УГНиСП)

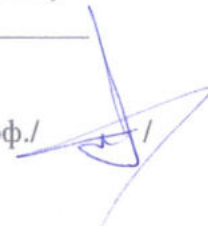
24.00.00 «Авиационная и ракетно-космическая техника»

(индекс)

(полное наименование направления)

(№ протокола)

«__» ____ 2018 г. Председатель УМК по УГНиСП Бородавкин В.А., д.т.н., проф./

(Ф.И.О., уч.степень, уч.звание) (подпись) 

Учебная дисциплина обеспечена основной литературой

«31» 10 2018 г.

Директор библиотеки Сесина Н.В. /

(Ф.И.О., уч.степень, уч.звание)

(Ф.И.О., уч.степень, уч.звание)

(подпись)

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 обусловленной 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, 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;

- 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, в том числе 51 час аудиторных занятий и 21 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:	
Лекционные занятия (ЛЗ)	17
Научно-практические занятия (НПЗ)	17
Семинары (С)	
Исследовательские лабораторные работы (ИЛР)	
Индивидуальные консультации (К)	17
Самостоятельная работа (СР), в том числе:	
Проработка материала лекций (ПМЛ)	8
Подготовка к научно-практическим занятиям (ПНПЗ)	8
Подготовка рефератов (ПР)	5
Всего:	72

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

Таблица 2

№ п/п	Раздел дисциплины (модуля)	Трудоемкость по видам учебной ра- боты (час.)							Формы само- стоятельной ра- боты ^{*)}
		всего	очная форма обучения						
			ЛЗ	НПЗ	ИЛР	С	К	СР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Внутрикамерный процесс. Парамет- рическая нестационарность. Рабочее тело РД - низкотемпературная плаз- ма.	2	2	1			0,5	1	ПМЛ-0,5 ПНПЗ-0,25 ПР-0,25
2	Элементы теории равновесной плазмы.	2	2	2			1,5	2	ПМЛ-1 ПНПЗ-0,5 ПР-0,5
3	Механизм формирования Электро- физических Отображений (ЭФО) внутрикамерных нестационарно- стей. Зарядовая неустойчивость.	3	3	3			2	4	ПМЛ-1 ПНПЗ-2 ПР-1
4	Двигательная электризация РД	2	2	2			3	3	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 инфор- мации.	4	4	5			4	5	ПМЛ-1 ПНПЗ-2 ПР-2
6	Условия Внутреннего Энергетиче- ского Равновесия (УВЭР). Зарядо- вый канал управления состояниями материальных сред.	2	2	3			4	5	ПМЛ-1 ПНПЗ-1 ПР-3
7	Электрофизика внутрикамерных процессов как базовая основа для углубления представлений о внут- рикарном процессе и изыскания до- полнительных ресурсов для повы- шения эффективности РД.	2	2	1			2	1	ПР-1
	Итого:	17	17	17			17	21	

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]
2	3	Плазма. Общая характеристика. Параметры состояния. Уравнения связей параметров	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	[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	[2]
	11	Характер решения. Результаты.	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	[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	[2],[3]
		Итого:	17	

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	[4]
	6, 7	Общее представление системы. Конструирование разностной схемы. Формирование обеспечений для решения схемы методом Ньютона Условие замыкания.	2	[4]
	8	Решение схемы. Зарядовая неустойчивость	1	[4]
6	9, 10, 11	Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР). Зарядовый канал управления состояниями материальных сред.	3	[2]
	12,13,14	Фундаментальная значимость УВЭР. УВЭР – основа формирования модели шаровой молнии	3	[2]
7	15,16,17	Энергетические и эксплуатационные характеристики РД. Ресурсы повышения	3	[2].[3]
		Итого:	17	

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. 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
4	Морозов А. И.	Введение в плазмодинамику	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.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

- кабинет материальной части кафедры;
- аудитория, оснащенная проектором и экраном;
- компьютерный класс кафедры А8.

7.2 Средства обеспечения освоения дисциплины:

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

СПРАВКА

о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова учебной литературы

1. Наименование дисциплины: "Электрофизические основы внутрикамерных процессов ракетных двигателей"

2. Кафедра: А8 «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», А3 "«Космических аппаратов и двигателей»"

3. Перечень основной учебной литературы:

1. Добровольский М.В., Жидкостные ракетные двигатели, М.: Машиностроение, 2005.
2. Алемасов В.Е., Дрегаллин А.Ф., Теория ракетных двигателей, М.: Машиностроение, 1989.
3. Франк-Каменецкий Д.А., Лекции по физике плазмы, М.: Атомиздат, 1968.
4. Пинчук В.А., Электрофизические отображения процессов в камерах тепловых энергопреобразователей, Санкт-Петербург: Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2008.
5. Ватажин Г.П., Грабовский В.И., Лихтер В.А., Шульгин В.И., Электродинамические течения, М.: Наука, 1983.
6. Пинчук В.А., Двигательная электризация как явление, отображающее развитие зарядовой неустойчивости в среде продуктов сгорания при истечении, ЖТФ, Т.67. № 8., С. 21-26, 1997
7. Пинчук А.В., Пинчук В.А., Шаровая молния: физические основы, концепция представлений, Санкт-Петербург: Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2011

4. Перечень дополнительной литературы:

1. Абрамович Г.Н., Прикладная газовая механика, М.: Наука, 1978

Директор библиотеки



(Сесина Н.В.)