

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 3

от 30.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЭЛЕКТРОРЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КОСМОСЕ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 16.04.02 Высокотехнологические плазменные и  
энергетические установки

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
1	3	108	16	32	0		24	0	Э
Итого	3	108	16	32	0	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе дисциплины «Электрореактивные двигатели и их применение в космосе» изучаются принципы работы различных типов электрических ракетных двигателей, со спецификой их применения для длительной работы в составе космического аппарата.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Электрореактивные двигатели и их применение в космосе» является ознакомить будущих магистров с принципами работы различных типов электрических ракетных двигателей, со спецификой их применения для длительной работы в составе космического аппарата; и облегчить изучение специальной литературы, дать необходимые сведения для исследовательской работы

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Содержание программы «Электрореактивные двигатели и их применение в космосе» представляет собой развитие полученных ранее знаний по следующим дисциплинам: курс общей физики, включающий основы термодинамики, оптику, электричество и магнетизм и др.; статистическая физика; математический анализ; дифференциальные уравнения; теория вероятности и математической статистики; теоретическая и квантовая механика; статистическая физика, математический анализ, дифференциальные уравнения, теория вероятности и математической статистики, уравнения математической физики, физика низкотемпературной плазмы; вакуумная технология плазменных установок.

Курс Электрореактивные двигатели и их применение в космосе входит в число базовых при подготовке современных студентов на уровне магистров.

Изучение дисциплины позволит студентам проводить исследовательскую работу в инновационных областях науки и техники, связанных с фундаментальными научными и прикладными космическими программами.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	---------------------------	--	---

научно-исследовательский			
<p>Применение методов создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках</p>	<p>Методы создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках</p>	<p>ПК-2.2 [1] - Способен применять методы создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-2.2[1] - Знать основные методы создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках; У-ПК-2.2[1] - Уметь применять на практике методы создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках; В-ПК-2.2[1] - Владеть навыком применения методов создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках</p>
<p>Анализ научно-технической информации, постановка научной проблемы, обработка и обобщение полученных результатов</p>	<p>Научно-техническая информация по тематике исследований, результаты исследования</p>	<p>ПК-3 [1] - Способен анализировать научно-техническую информацию, научные проблемы, результаты, перспективы по тематике проводимых исследований и разработок</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>3-ПК-3[1] - Знать специфику и современное состояние развития исследований и разработок; методы поиска, анализа научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения ; У-ПК-3[1] - Уметь: проводить поиск, анализ научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования</p>

			задачи по тематике проводимых исследований и разработок; обобщать и критически анализировать полученную информацию; проводить критический анализ своих результатов и результатов других исследователей; В-ПК-3[1] - владеть навыками поиска и анализа научно-технической информации, выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок, обобщения и критического анализа информации.
научно-инновационный			
Использование методов плазменной обработки материалов и анализа плазменного воздействия на материал	Методы плазменной обработки материалов	ПК-2.3 [1] - Способен применять методы плазменной обработки материалов и анализа плазменного воздействия на материалы  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-2.3[1] - Знать основные методы плазменной обработки материалов и анализа плазменного воздействия на материалы; У-ПК-2.3[1] - Уметь применять на практике методы плазменной обработки материалов и анализа плазменного воздействия на материалы; В-ПК-2.3[1] - Владеть методами плазменной обработки материалов и анализа плазменного воздействия на материалы

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
<i>1 Семестр</i>							
1	Физические основы применения космических ракетных двигателей (КЭРД)	1-8	8/16/0		25	КИ-8	3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Физические принципы ускорения плазменных потоков для создания реактивных струй	9-16	8/16/0		25	КИ-16	3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3

							В-ПК-3
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	16	32	0
1-8	<b>Физические основы применения космических электро-ракетных двигателей (КЭРД)</b>	8	16	0
1	<b>Введение: Значение КЭРД в космической технике</b> КЭРД - третья эра в космической технике. Приоритет России и СССР в основополагающей идее КЭРД (1911 г., К.Э.Циолковский) и в первом практическом использовании в космосе (1964 г.). Области применения КЭРД на космических аппаратах (КА).	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Обоснование необходимости достижения высоких</b>	Всего аудиторных часов		

	<b>скоростей истечения V рабочего тела из КЭРД: V (5-100) км/с</b> .Уравнение И.В.Мещерского, формула К.Э.Циолковского. Необходимость создания космических ядерных (ЯРД) и термоядерных (ТЯРД) реактивных двигателей. Мечты о создании фотонных реактивных двигателей (ФРД).	1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Обоснование необходимости достижения высоких скоростей истечения V рабочего тела из КЭРД: V (5-100) км/с</b> Работы К.Э.Циолковского, Н.Н.Кондратьюка, Ф.А.Цандера, Р.Годдарда, Г.Оберта, Р.Эсно-Пелтри, Е.Зенгера, С.П.Королева и других основоположников космонавтики.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Тяговые характеристики КЭРД и их классификация</b> .Расход массы, тяга, удельный импульс, тяговый КПД $\eta_t$ , энергетический КПД $\eta_\epsilon$ , суммарный импульс, цена тяги. Взаимосвязь этих параметров. Классификация КЭРД.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Динамика полета КА с “маршевыми” КЭРД</b> Динамика полета КА с “маршевыми” КЭРД: от Земли в космос - по спиральной траектории. Вывод уравнений для траектории полета КА. Результаты численного моделирования.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Основные механизмы ускорения ионов в плазменных ускорителях</b> .Рассмотрение механизмов на основе двухжидкостной МГД-модели плазмы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Электронагревные КЭРД (ЭНД)</b> .Сополо Лавалья. Физические процессы в нем, сверхзвуковое истечение. Максимальная скорость истечения. Конкретные летные конструкции ЭНД, достигнутые параметры. Области применения. Конкретные летные конструкции ЭНД, достигнутые параметры. Области применения.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Физические принципы ускорения плазменных потоков для создания реактивных струй</b>	8	16	0
9	<b>Импульсные плазменные двигатели (ИПД)</b> .Абляционные ИПД электромагнитные, электротермические и гибридные. Физические процессы. Тяговые характеристики. Летные конструкции, достигнутые параметры. Области применения.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10 - 11	<b>Ускорители плазмы с замкнутым дрейфом электронов (УЗДП)</b> .УЗДП с протяженной зоной ускорения - ЛХД, или, СПД,ЗПД с узкой зоной ускорения - ДАС (двигатель с анодным слоем).Физические процессы, сравнительные характеристики. Конкретные летные конструкции, достигнутые параметры. Области применения. Примеры космических миссий.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Сильноточные стационарные плазменные двигатели большой мощности.</b> Торцевые холловские двигатели (ТХД). Физические процессы, конструкции, достигнутые параметры, области применения. Примеры космических миссий.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

13	<b>Электростатические ионные и кластерные двигатели</b> Ионные источники с поверхностной и объемной ионизацией. Физические процессы. Летные конструкции. Достигнутые параметры. Примеры космических миссий.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
14	<b>Бортовые источники энергии для питания ЭРД.</b> Первичные источники энергии (химические, солнечные, ядерные). Способы преобразования энергии первичных источников в электрическую мощность на борту КА. Машинное и прямое преобразование энергии. Солнечные, термоэлектрические и термоэмиссионные батареи. Бортовые аккумуляторы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
15 - 16	<b>Проект VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket).</b> Project VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket).	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

По направлению подготовки (специальности) предусматривается широкое использование современных методов проведения учебных процессов с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. Курс предусматривает демонстрационный материал по каждой теме занятий, который представляется в виде слайдов.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-2.2	З-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16



	В-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-2.3	3-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-3	3-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 620 Р64 Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы : , Долгопрудный: Интеллект Групп, 2010
2. ЭИ Е 78 Теория и проектирование ракетных двигателей : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ Г 65 Электрические двигатели небольшой мощности : Допущено УМО вузов России по образованию в области тепло- и электроэнергетики в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Электроэнергетика", Москва: МЭИ, 2019
4. 533 М80 Введение в плазмодинамику : , А. И. Морозов, Москва: Физматлит, 2008

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 533 Э-68 Энциклопедия низкотемпературной плазмы Вводный том Кн.3, , М.: Наука, Интерпериодика, 2000
2. 533 Э-68 Энциклопедия низкотемпературной плазмы Вводный том Кн.4, , М.: Наука,Интерпериодика, 2000
3. 533 Э68 Энциклопедия низкотемпературной плазмы Т. IX - 2 Высокоэнергетичная плазмодинамика, , : Янус-К, 2007
4. 533 Э68 Энциклопедия низкотемпературной плазмы Т. IX - 3 Радиационная плазмодинамика, , : Янус-К, 2007
5. 533 Э68 Энциклопедия низкотемпературной плазмы Т. IX-3 , , Москва: Янус-К, 2007
6. 533 М80 Введение в плазмодинамику : , А. И. Морозов, Москва: Физматлит, 2006

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

1. Microsoft office (33-103)
2. OSWindows 7 Pro
3. KasperskySecurity
4. Adobe acrobat

### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

1. НИЯУ МИФИ (<http://www.library.mephi.ru/>)

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Персональный Компьютер (33-103)
2. Проектор EPSON (33-103)
3. Интерактивная доска SMARTBOARD SB680IV3 (33-103)

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Курс «Электрореактивные двигатели и их применение в космосе» состоит из теоретической части, на которой преподаватель дает основные понятия и определения по теме занятия и практической части, на которой разбирается типичный пример решения задачи и даются задания (задачи) студентам на закрепление материала. В семестре студент может получить максимум 100 баллов: 50 баллов за работу в семестре и 50 баллов за экзамен.

Работа в семестре представляет собой решение задач на практических занятиях. Итоговая оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля и выставляется в соответствии с Положением о кредитно-модульной системе.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Курс «Электрореактивные двигатели и их применение в космосе» состоит из теоретической части, на которой преподаватель дает основные понятия и определения по теме занятия и практической части, на которой разбирается типичный пример решения задачи и даются задания (задачи) студентам на закрепление материала.

### **Методические указания по проведению лекций**

Лекция представляет собой логическое изложение материала в соответствии с планом лекции, который сообщается студентам в начале каждой лекции, и имеет законченную форму, т. е. содержит пункты, позволяющие охватить весь материал, который требуется довести до студентов. Содержание каждой лекции имеет определенную направленность и учитывает уровень подготовки студентов. Ее цель – формирование ориентировочной основы для последующего усвоения студентами учебного материала. Главной задачей лектора является организация процесса познания студентами материала изучаемой дисциплины на всех этапах ее освоения, предусмотренных образовательным стандартом. Лекции по курсу призваны решать две основные задачи: во-первых, информативную, т.е. сообщать студенту определенный набор теоретических знаний об изучаемой области действительности, во-вторых, развивающую, т.е. способствовать выработке навыков самостоятельной познавательной деятельности, мышления и оценки на основе полученных знаний.

Для решения названных задач при подготовке лекции преподавателю необходимо:

- сформулировать цель и задачи каждой лекции;
- определить содержание лекции и план ее проведения так, чтобы это отвечало поставленным задачам лекции;

- разработать методы активизации познавательной деятельности студентов с учетом уровня знаний студентов;
- продумать возможности использования изучаемого материала в рамках других дисциплин и в практической деятельности;
- представить ссылки на источники для самостоятельного изучения материала студентами;
- по материалу лекции сформулировать задачи с целью подготовки студентов к семинарам.

Тематика и содержание лекции определяются рабочей программой изучаемой дисциплины, составленной в соответствии с образовательным стандартом направления специальности подготовки магистра.

Для передачи теоретического материала по дисциплине используются три основных типа лекций: вводная лекция, информационная лекция и обзорная лекция.

По своей структуре лекции могут быть разнообразны – это зависит от содержания и характера излагаемого материала. Однако существует общий структурный каркас, применимый к любой лекции. Прежде всего, это сообщение плана лекции студентам и строгое ему следование. В план лекции включаются наименования основных вопросов лекции, которые могут послужить базой для составления экзаменационных билетов. В начале изложения полезно напомнить содержание предыдущей лекции, связать его с новым материалом, определить место и назначение рассматриваемой темы в дисциплине и в системе других наук.

При раскрытии вопросов темы можно применять индуктивный метод: примеры, факты, подводящие к научным выводам; можно также использовать метод дедукции: разъяснение общих положений с последующим показом возможности их приложения на конкретных примерах. По каждому из анализируемых положений следует делать вывод.

В конце лекции необходимо подвести итог сказанному.

Излагая лекционный материал, преподаватель должен ориентироваться на то, что студенты пишут конспект. Конспект помогает внимательно слушать, лучше запоминать в процессе осмысленного записывания, обеспечивает наличие опорных материалов при подготовке к семинару и экзамену. Задача лектора – дать студентам возможность осмысленного конспектирования: слушать, осмысливать, перерабатывать, кратко записывать. Средствами, помогающими конспектированию, являются: акцентированное изложение материала лекции, использование пауз, записи на доске, демонстрации иллюстративного материала, строгое соблюдение регламента занятий.

На каждую лекцию преподавателем разрабатывается план и конспект, включающие название темы, формулировку цели и задач, перечень основных разделов лекции, краткое, структурированное в соответствии с планом, содержание излагаемого материала, а также перечень вопросов, которые будут заданы по ходу лекции с целью активизации и повторения.

В ходе лекций по дисциплине «Электроактивные двигатели и их применение в космосе» предусматривается использование активных и интерактивных форм проведения занятий, в частности, применение мультимедийного проектора, а также интерактивных выступлений по принципу «вопрос – ответ», использование мела и доски, схем, таблиц и рисунков.

Методические указания по проведению практических занятий

Практические занятия по дисциплине «Электрореактивные двигатели и их применение в космосе» направлены главным образом на закрепление и расширение полученных теоретических знаний, а также представить самостоятельные решения практических ситуаций. Практические занятия призваны углублять, расширять, детализировать знания, полученные на лекции в обобщенной форме, и содействовать выработке навыков профессиональной деятельности. Они развивают инженерное и научное мышление, позволяют проверить знания студентов, привить навыки поиска, обобщения и изложения учебного материала и выступают как средство оперативной обратной связи. Как правило, во время практических занятий основное внимание уделяется формированию конкретных умений, навыков, что определяет содержание деятельности студентов. Структура практических занятий по дисциплине «Электрореактивные двигатели и их применение в космосе» включает: постановку задач преподавателем; ответы на вопросы студентов для уточнения материала; защиту решения практических задач и др.

Автор(ы):

Гуторов Константин Михайлович, к.ф.-м.н.

Егоров Игорь Дмитриевич