

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Системный анализ и моделирование пучково-плазменных систем
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Пучково-плазменные системы и технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра логистических систем и технологий
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 15 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: М.Н. Васильев, д-р техн. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры логистических систем и технологий 07.04.2023

## Аннотация

Студент, изучающий дисциплину «Системный анализ и моделирование пучково-плазменных систем», должен закрепить знания, полученные при изучении курсов «Введение в специальность», «Введение в физику плазмы», «Информатика в научных исследованиях». Во время прохождения дисциплины студенты знакомятся с общими принципами декомпозиции и синтеза пучково-плазменных систем при их разработке и проектировании а также приобретают практические знания физического и компьютерного моделирования пучково-плазменных систем. Учебный курс предусматривает знакомство студентов с пакетами прикладных программ, предназначенными для моделирования пучково-плазменных систем, методами проведения вычислительных экспериментов с целью расчета наиболее важных характеристик пучково-плазменных систем, а также оборудованием и приборами, используемыми при проведении физических экспериментов с пучково-плазменными системами. При выполнении лабораторных работ студенту предоставляется возможность провести самостоятельные расчеты и сравнение их результатов с данными физических экспериментов. При этом методики проведения физических и вычислительных экспериментов должны быть предложены самим студентом. В результате изучения дисциплины «Системный анализ и моделирование пучково-плазменных систем» студент должен получить общие представления об принципах конструирования пучково-плазменных установок различного назначения, методах компьютерного моделирования таких систем, принципах их оптимизации и обеспечения безопасной эксплуатации.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

ознакомить студентов с методами системного анализа, моделирования и принципами конструирования пучково-плазменных систем применительно к задачам разработки производственных и аэрокосмических технологий, а также лабораторных установок.

### Задачи дисциплины

- ознакомление студентов с известными схемными решениями пучково-плазменных систем;
- ознакомление студентов с общими принципами декомпозиции и синтеза пучково-плазменных систем при их разработке и проектировании;
- формирование у студентов начальных практических знаний и умений физического и компьютерного моделирования пучково-плазменных систем;
- формирование у студентов начальных навыков проектирования пучково-плазменных систем при решении реальных технологических задач.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения

УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы синтеза и декомпозиции пучково-плазменных систем различного назначения;
- методы системного анализа и моделирования сложных систем, используемые при расчете и конструировании пучково-плазменных установок технологического назначения; особенности эксплуатации и технического обслуживания пучково-плазменных установок;
- принципы совместимости систем применительно к задачам проектирования пучково-плазменных модулей, предназначенных для использования в аэрокосмических технологиях;
- основные подходы к оценке рисков, связанных с эксплуатацией пучково-плазменных установок различного назначения.

уметь:

- применять на практике основные методы системного анализа, используемые при проектировании пучково-плазменных систем различного назначения;
- проводить вычислительные эксперименты, связанные моделированием пучково-плазменных систем;
- выполнять расчеты, связанные с оптимизацией пучково-плазменных установок при решении практических технологических и инженерных задач;
- выполнять эскизное проектирование лабораторных пучково-плазменных установок;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с анализом, проектированием и применением пучково-плазменных систем различного назначения.

владеть:

- навыками освоения большого объема междисциплинарной и специальной информации;
- культурой постановки задач в области системного анализа и моделирования пучково-плазменных систем различного назначения и навыками проведения соответствующих вычислительных экспериментов.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение. Принципы декомпозиции и синтеза пучково-плазменных систем.		4		2
2	Основные физические модели процессов, применяемые при расчете параметров пучково-плазменных систем.		4		2
3	Методы компьютерного моделирования и оптимизации, применяемые при расчете параметров пучково-плазменных систем.		4		2
4	Принципы совместимости при проектировании пучково-плазменных систем.		3		2
5	Вычислительные эксперименты по моделированию пучково-плазменных систем технологического назначения.			5	2
6	Вычислительные эксперименты по моделированию пучково-плазменных систем, предназначенных для аэрокосмических технологий.			5	2
7	Верификация методов компьютерного моделирования лабораторных пучково-плазменных систем; физическое моделирование пучково-плазменных систем.			5	3
Итого часов			15	15	15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

###### 1. Введение. Принципы декомпозиции и синтеза пучково-плазменных систем.

Предмет, цели и задачи курса. Пучково-плазменная установка как сложная система. Общие методы анализа сложных систем. Целевая функция. Принципы синтеза и декомпозиции систем. Эффективность, надежность, робастность сложных технических систем. Принципы совместимости при проектировании пучково-плазменных систем. Основные подходы к оценке рисков, связанных с эксплуатацией пучково-плазменных установок различного назначения.

###### 2. Основные физические модели процессов, применяемые при расчете параметров пучково-плазменных систем.

Модели, описывающие эмиссию электронов и формирование электронных пучков. Моделирование электронно-кинетических процессов при распространении электронного пучка в вакууме. Физические модели распространения электронного пучка в плотной газообразной среде. Физические модели и расчетные формулы для анализа процессов взаимодействия электронного пучка с твердым телом. Физические модели генерации излучений при работе пучково-плазменных установок. Физические модели вторично-эмиссионных процессов в рабочем объеме пучково-плазменных установок.

3. Методы компьютерного моделирования и оптимизации, применяемые при расчете параметров пучково-плазменных систем.

Метод Монте-Карло для моделирования распространения электронного пучка в плотной среде. Пакеты прикладных программ для моделирования генерации электронно-пучковой плазмы в свободном и замкнутом объеме: пакеты DOZA и MolKin. Методы многокритериальной оптимизации при проектировании пучково-плазменных систем.

4. Принципы совместимости при проектировании пучково-плазменных систем.

Основные и вспомогательные системы пучково-плазменных установок: инжекторы электронов, системы формирования электронного пучка, высоковольтные источники питания, выводные окна, рабочие камеры, вакуумные системы, радиационная защита, системы охлаждения. Совместное функционирование перечисленных систем. Оптимизация весогабаритных характеристик пучково-плазменных систем. Оптимизация энергетических характеристик пучково-плазменных систем. Обеспечение безопасности и минимизация вредного воздействия на окружающую среду при эксплуатации пучково-плазменных систем.

5. Вычислительные эксперименты по моделированию пучково-плазменных систем технологического назначения.

Проведение компьютерного моделирования пучково-плазменной установки, предназначенной синтеза нитридов и оксидов металлов в электронно-пучковой плазме. Разработка эскизного проекта такой установки.

6. Вычислительные эксперименты по моделированию пучково-плазменных систем, предназначенных для аэрокосмических технологий.

Проведение компьютерного моделирования пучково-плазменной установки, предназначенной для генерации плазмы внутри замкнутого контейнера. Разработка эскизного проекта такой установки.

7. Верификация методов компьютерного моделирования лабораторных пучково-плазменных систем; физическое моделирование пучково-плазменных систем.

Проведение физических экспериментов по измерению температуры в различных зонах пучково-плазменных установок. Сравнение данных, полученных в физических экспериментах с результатами вычислительных экспериментов. Подготовка отчета по итогам проделанной работы.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Компьютерный класс. Экспериментальный комплекс «Пучково-плазменные системы и технологии» в составе установок ЭЛУ-1 и ЭЛУ-2, диагностического оборудования, вспомогательного и специального технологического оборудования (помещение 222 корпуса УПМ).

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

#### Основная литература

1. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: Учебное пособие. – К.: МАУП, 2003. – 368 с
2. Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа. Учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 216 с.
3. Бычков В.Л., Васильев М.Н., Коротеев А.С. Электронно-пучковая плазма. Генерация, свойства, применение. М.: Изд. МГОУ А/О Росвузнаука, 1993. – 167 с.
4. Михайлов Г.А. Численное статистическое моделирование: методы Монте-Карло: [учеб. пособие по направлению подготовки "Прикладная математика"] / Г.А. Михайлов, А.В. Войтишек. - М.: Академия, 2006. - 366 с. - (Университетский учебник).

#### Дополнительная литература

1. Хомяков П.М. Системный анализ: краткий курс лекций / Под ред. В.П. Прохорова — М.: КомКнига, 2006. — 216 с.
2. M. Vasiliev, T. Vasilieva. Materials production with Beam Plasmas. In Encyclopedia of Plasma Technology (Ed. J.L. Shohet, Taylor & Francis), 2017
3. Васильев М.Н. Применение электронно-пучковой плазмы в плазмохимии / Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Под ред. В.Е. Фортова. Т. XI. М.: Наука, 2001. С. 436-445.

#### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

#### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Программные пакеты DOZA и MolKin, текстовый редактор Microsoft Word, приложение для подготовки презентаций Microsoft Power Point, программные пакеты Matlab, Excel.

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- изучение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам);
- решение задач, предлагаемых студентам на практических занятиях;
- подготовку к практическим занятиям и дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов тестов и опросов по рассмотренным темам.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Пучково-плазменные системы и технологии  
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий  
кафедра логистических систем и технологий  
**курс:** 2  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** М.Н. Васильев, д-р техн. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Системный анализ и моделирование пучково-плазменных систем» обучающийся должен:

**знать:**



- принципы синтеза и декомпозиции пучково-плазменных систем различного назначения;
- методы системного анализа и моделирования сложных систем, используемые при расчете и конструировании пучково-плазменных установок технологического назначения; особенности эксплуатации и технического обслуживания пучково-плазменных установок;
- принципы совместимости систем применительно к задачам проектирования пучково-плазменных модулей, предназначенных для использования в аэрокосмических технологиях;
- основные подходы к оценке рисков, связанных с эксплуатацией пучково-плазменных установок различного назначения.

**уметь:**

- применять на практике основные методы системного анализа, используемые при проектировании пучково-плазменных систем различного назначения;
- проводить вычислительные эксперименты, связанные моделированием пучково-плазменных систем;
- выполнять расчеты, связанные с оптимизацией пучково-плазменных установок при решении практических технологических и инженерных задач;
- выполнять эскизное проектирование лабораторных пучково-плазменных установок;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с анализом, проектированием и применением пучково-плазменных систем различного назначения.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема междисциплинарной и специальной информации;
- культурой постановки задач в области системного анализа и моделирования пучково-плазменных систем различного назначения и навыками проведения соответствующих вычислительных экспериментов.

### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

Текущий контроль осуществляется в форме самостоятельных работ или тестов в письменной форме по каждой теме.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ, а также индивидуальных консультаций.

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Итоговая аттестация проводится в форме дифференцированного зачета (сдача лабораторных работ).

Перечень лабораторных работ:

1. Генерация электронно-пучковой плазмы в неограниченном объеме и управление плазменным облаком. Физический эксперимент.
2. Генерация электронно-пучковой плазмы в неограниченном объеме. Вычислительный эксперимент.
3. Генерация электронно-пучковой плазмы в контейнере. Вычислительный эксперимент.
4. Генерация электронно-пучковой плазмы в контейнере. Физический эксперимент.

Перечень вопросов для подготовки к сдаче лабораторных работ.

1. Принцип действия пучково-плазменных установок.
2. Системы формирования электронного пучка.
3. Выводные окна для электронных пучков и физические процессы, протекающие в выводных окнах различных типов.
4. Процессы, протекающие в реакционных камерах пучково-плазменных установок.
5. Алгоритмы компьютерного моделирования движения быстрых электронов в плотной среде.
6. Метод Монте-Карло для моделирования электронной кинетики.
7. Принцип самосогласованности при анализе процесса генерации электронно-пучковой плазмы

8. Принцип совместимости при проектировании пучково-плазменных установок технологического и аэрокосмического назначения.

Пример билетов дифференцированного зачёта:

Билет №1

1. Выводные окна для электронных пучков и физические процессы, протекающие в выводных окнах различных типов.
2. Процессы, протекающие в реакционных камерах пучково-плазменных установок.

Билет №2

1. Метод Монте-Карло для моделирования электронной кинетики.
2. Принцип самосогласованности при анализе процесса генерации электронно-пучковой плазмы

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных работ;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных работ;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных работ;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, а также, если во время ответа экзаменационного билета, он показал что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится по итогам текущей успеваемости: по результатам контрольных, самостоятельных работ/тестов.

Дифференцированный зачет по дисциплине проводится путем организации специального опроса в устной форме по вопросам.

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется до 40 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном зачете не должен превышать одного астрономического часа.

Во время проведения дифференцированного зачета при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций и любой другой литературой.

Во время проведения дифференцированного зачета при ответе обучающегося на вопросы по билету он не может пользоваться конспектами лекций и любой другой литературой.