

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ТЕОРИЯ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ И ИХ ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

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
7	3	108	48	32	0	28	0	3
8	3	108	36	24	0	12	0	Э
Итого	6	216	84	56	0	40	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Изучаются численные методы решения уравнений газодинамики, а также современные физические модели турбулентных реагирующих потоков.

Задачи дисциплины - приобретение студентами теоретических знаний и практических навыков в области численного моделирования газодинамических процессов, в т.ч. течений с разрывами (ударные волны, фронты горения, детонации). Знакомство с современными физическими моделями турбулентных реагирующих потоков.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями освоения учебной дисциплины являются: получение студентом навыков теоретического моделирования скоростных течений сжимаемой сплошной среды с выходом на конкретные, практически интересные задачи с использованием современных разностных методов решения нестационарных краевых задач, которые помогут им правильно ориентироваться в сложной технике исследования инженерно-физических процессов.

Задачи дисциплины:

- Детальное изучение основных понятий и определений теории разностных схем.
- Изучение основных принципов построения разностных схем.
- Обоснование выбора и границ разностных схем для расчета реагирующих потоков с ударными, детонационными волнами и волнами горения..
- Формирование способности у студента детально проводить построение уравнений и алгоритмов для расчета течений реагирующих потоков с разрывами.
- Формирование способности у студента применять вычислительные принципы, изучаемые в дисциплине, к решению практических физических задач.

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

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения следующих дисциплин и разделов:

Математика: обыкновенные дифференциальные уравнения; Математика: математический анализ; Математика: теория функций комплексного переменного; Математика: векторный и тензорный анализ; Физика: механика, молекулярная физика и основы статистической термодинамики; Уравнения математической физики; Гидро- и газодинамика, Теоретическая физика: Статистическая физика.

Успешное освоение данной дисциплины необходимо при построении математических моделей исследуемых инженерно-физических процессов для расчёта основных термодинамических состояний и состояний в стационарных газодинамических процессах, а также во время научно-исследовательской работы, при выполнении выпускной квалификационной работы, а также при практической работе выпускников по специальности.

### **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>Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований. участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических</p>	<p>Деятельность по разработке материалов, покрытий, приборов</p>	<p>ПК-2 [1] - Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 25.049, 40.011</p>	<p>З-ПК-2[1] - Знать современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области. ; У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области ; В-ПК-2[1] - Владеть навыками выбора и применения оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области.</p>

исследований в предметной области по профилю специализации; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок;			
Выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты.	математические модели и программы для компьютерного моделирования	ПК-3 [1] - Способен применять численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001, 25.049	3-ПК-3[1] - Знать численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач. ; У-ПК-3[1] - Уметь применять численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач.; В-ПК-3[1] - Владеть навыками решения дифференциальных и интегральных уравнений численными методами для физико-технических задач.
участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок; создание программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей	модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства	ПК-6.1 [1] - Способен создавать математические модели сложных инженерно-физических процессов с использованием ресурсов современных высокопроизводительных вычислительных систем и технологий параллельного программирования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001	3-ПК-6.1[1] - Знать математические модели инженерно-физических процессов; У-ПК-6.1[1] - Уметь использованием ресурсы современных высокопроизводительных вычислительных систем и технологий параллельного программирования; В-ПК-6.1[1] - Владеть навыками использования ресурсов современных высокопроизводительных вычислительных систем и технологий параллельного программирования
проведение научных	модели, методы и	ПК-6.2 [1] -	3-ПК-6.2[1] - Знать

<p>и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в области суперкомпьютерных технологий в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований</p>	<p>средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства</p>	<p>Способен проводить имитационное моделирование физических объектов и процессов с использованием современных программных комплексов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008, 40.011</p>	<p>основные методы и принципы научных исследований, физико-математического и имитационного моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования и использования современных программных комплексов; У-ПК-6.2[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи; оценивать результаты исследований; формулировать результаты проведенного моделирования, проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты с использованием современных программных комплексов; В-ПК-6.2[1] - Владеть навыками выбора и использования средств имитационного моделирования физических объектов и процессов с использованием современных программных комплексов, методами анализа и синтеза научной информации</p>
<p>сбор и обработка научной и аналитической информации, в том числе</p>	<p>модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и</p>	<p>ПК-6.3 [1] - Способен использовать средства и методы графической и</p>	<p>3-ПК-6.3[1] - Знать средства и методы графической и числовой обработки данных вычислительного</p>

<p>вычислительных экспериментов, с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий</p>	<p>разработок в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства</p>	<p>числовой обработки данных вычислительного эксперимента, а также давать их физическую интерпретацию</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>эксперимент; У-ПК-6.3[1] - Уметь использовать средства и методы визуализации и числовой обработки данных вычислительного эксперимента, а также давать их физическую интерпретацию; В-ПК-6.3[1] - Владеть навыками использования средства и методы графической и числовой обработки данных вычислительного эксперимента, а также давать их физическую интерпретацию</p>
<p>конструкторско-технологический</p>			
<p>Создание программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей.</p>	<p>комплексы программ для научно-исследовательских и прикладных целей</p>	<p>ПК-7 [1] - Способен к разработке прикладного программного обеспечения для проведения научных исследований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001, 25.042, 40.008, 40.011</p>	<p>3-ПК-7[1] - Знать текущее положение современных научных достижений, современные методы и алгоритмы для разработки и адаптации прикладного программного обеспечения для проведения научных исследований. ; У-ПК-7[1] - Уметь применять современные методы и алгоритмы для разработки наукоемкого программного обеспечения.; В-ПК-7[1] - Владеть навыками разработки и адаптации прикладного программного обеспечения для проведения научных исследований.</p>
		<p>ПК-9 [1] - Способен к математическому и компьютерному моделированию объектов, систем, процессов и явлений в избранной</p>	

		предметной области	
		Основание: Профессиональный стандарт: 06.001	

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор,	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у

	<p>профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)</p>	<p>студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</li> </ul> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>
<p>Профессиональное</p>	<p>Создание условий,</p>	<p>1.Использование</p>

<p>воспитание</p>	<p>обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20)</p>	<p>воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер</p>

		<p>трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального</p>

		модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
--	--	---

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	24/16/0		25	Т-8	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-6.1, У-ПК-6.1,

							В-ПК-6.1, 3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
2	Второй раздел	9-16	24/16/0		25	КЛ-16	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-ПК-

							6.2, У- ПК- 6.2, В- ПК- 6.2, 3-ПК- 6.3, У- ПК- 6.3, В- ПК- 6.3, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7, 3-ПК- 9, У- ПК-9, В- ПК-9
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		48/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	3	3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 6.1, У- ПК- 6.1, В- ПК- 6.1, 3-ПК- 6.2, У- ПК-

							6.2, В- ПК- 6.2, 3-ПК- 6.3, У- ПК- 6.3, В- ПК- 6.3, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7, 3-ПК- 9, У- ПК-9, В- ПК-9
	<i>8 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-6	18/12/0		25	Т-6	3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 6.1, У- ПК- 6.1, В- ПК- 6.1, 3-ПК- 6.2, У- ПК- 6.2, В- ПК-

							6.2, 3-ПК- 6.3, У- ПК- 6.3, В- ПК- 6.3, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7, 3-ПК- 9, У- ПК-9, В- ПК-9
2	Второй раздел	7-12	18/12/0		25	ДЗ-12	3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 6.1, У- ПК- 6.1, В- ПК- 6.1, 3-ПК- 6.2, У- ПК- 6.2, В- ПК- 6.2, 3-ПК- 6.3, У-

							ПК-6.3, В-ПК-6.3, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		36/24/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-ПК-6.3, У-ПК-6.3, В-

							ПК-6.3, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
--	--	--	--	--	--	--	--

\* – 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
Т	Тестирование
Кл	Коллоквиум
ДЗ	Домашнее задание
З	Зачет
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	48	32	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	24	16	0
1 - 2	<b>Модельные уравнения в частных производных</b> Краткое историческое введение. Цели и задачи курса. Законы сохранения. Модельные уравнения в частных производных (конвективного переноса, диссипации, теплопроводности). Разностные сетки (в лагранжевых и эйлеровых переменных, равномерные и неравномерные, сетки в криволинейных координатах, адаптивные сетки, в т.ч. вложенные, сетки привязанные к особенностям течения). Способы задания сеточных функций.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Основные типы разностных методов</b> Основные типы разностных методов (собственно разностные методы, методы построенные на интегральных соотношениях (схемы семейства Годунова), метод конечных элементов, спектральный метод). Свойства разностных схем, ошибки разностных схем,	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

	примеры простейших разностных схем.			
5 - 6	<b>Свойства разностных схем</b> Аппроксимируемость, консервативность, сходимость, устойчивость, причинность, монотонность, диссипативность, точность разностных схем. Дифференциальное приближение разностной схемы. Множитель перехода. Амплитудные и фазовые ошибки. Ошибка Гибса. Ошибка округления.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Основные теоремы теории разностных схем</b> Связь свойств разностных схем друг с другом . Теорема Годунова , теорема Лакса, основные теоремы теории разностных схем. Схемы явный уголок назад, явный уголок назад, схема центральной разности	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	24	16	0
9 - 11	<b>Схемы с невозрастающей полной вариацией</b> Схемы с невозрастающей полной вариацией. Схема крест, схема Лакса-Вендрова.	Всего аудиторных часов		
		12	8	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 16	<b>Разностные схемы.</b> Неявные разностные схемы. Схемы высокого порядка точности. Нелинейные разностные схемы. Многошаговые разностные схемы. Монотонные разностные схемы.	Всего аудиторных часов		
		12	8	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<i>8 Семестр</i>	36	24	0
<b>1-6</b>	<b>Первый раздел</b>	18	12	0
1 - 2	<b>Методы расчета газодинамических разрывов</b> Метод расчета течений с ударными волнами. Искусственная вязкость. Схема крест с различными типами искусственной вязкости (линейная, квадратичная и т.д.) в лагранжевых переменных.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Метод расчета течений с ударными волнами</b> Метод крупных частиц. Принцип расщепления. Методы корректировки потока. TVD-методы. Ограничители потоков. ENO и WENO методы.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Методы семейства Годунова.</b> Методы семейства Годунова. Схемы Годунова на основе точного и приближенного (Роз) решения задачи Римана.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>7-12</b>	<b>Второй раздел</b>	18	12	0
7 - 8	<b>Методы расчета газодинамических разрывов на адаптивных сетках.</b> Методы расчета газодинамических разрывов на адаптивных сетках. Методы расчета детонационных волн.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9 - 10	<b>Методы расчета волн горения</b> Методы расчета волн горения	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

11 - 12	<b>Методы расчета газодинамических задач</b> Понятие о методе конечных элементов. Метод коллокаций. Метод конечного объема. Метод Галеркина, Спектральный метод. Метод решения уравнений атмосферной диффузии. Особенности использования разностных схем в параллельных вычислениях.	Всего аудиторных часов		
		6	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

#### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
4 - 8	<b>Основные типы разностных методов</b> Основные типы разностных методов (собственно разностные методы, методы построенные на интегральных соотношениях (схемы семейства Годунова), метод конечных элементов, спектральный метод).
9 - 11	<b>Основные теоремы теории разностных схем</b> Схемы явный уголок назад, явный уголок назад, схема центральной разности
12 - 15	<b>Разностные схемы</b> Неявные разностные схемы. Схемы высокого порядка точности. Нелинейные разностные схемы. Многошаговые разностные схемы. Монотонные разностные схемы.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины используются образовательные технологии в форме практических занятий, мастер-классов. По данной дисциплине при теоретическом изучении материала используется метод демонстрации результатов газодинамических расчетов, выполненных сотрудниками и выпускниками кафедры. Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку студентом лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к тестам, к экзамену, а так же выполнение домашнего задания и написание компьютерной программы для решения научной задачи.

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

## 7. 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)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ПК-2	З-ПК-2	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	У-ПК-2	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	В-ПК-2	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
ПК-3	З-ПК-3	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	У-ПК-3	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	В-ПК-3	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
ПК-6.1	З-ПК-6.1	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	У-ПК-6.1	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	В-ПК-6.1	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
ПК-6.2	З-ПК-6.2	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	У-ПК-6.2	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	В-ПК-6.2	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
ПК-6.3	З-ПК-6.3	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	У-ПК-6.3	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	В-ПК-6.3	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
ПК-7	З-ПК-7	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	У-ПК-7	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	В-ПК-7	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
ПК-9	З-ПК-9	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	У-ПК-9	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12
	В-ПК-9	З, Т-8, Кл-16	Э, Т-6, ДЗ-12

### 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»	А	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.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ М39 Mathematical Modelling : , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ К 90 Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2012
3. 532 Б89 Математические основы вычислительной механики жидкости, газа и плазмы : учебное пособие, Долгопрудный: Интеллект, 2017
4. ЭИ В 93 Математическое и физическое моделирование потенциальных течений жидкости : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
5. ЭИ Т 32 Математическое моделирование в механике сплошных сред : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2021
6. ЭИ К 88 Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена в движущихся жидкостях : , Санкт-Петербург: Лань, 2022

7. 519 Ч-67 Численные методы решения уравнений с частными производными Ч.1 Разностные схемы для решения уравнения конвективного переноса (одномерное уравнение), С. А. Губин [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ 3-50 Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2008
2. 533 О-63 Численное моделирование реагирующих потоков : , Оран Э.,Борис Дж.;Пер. с англ., М.: Мир, 1990
3. 533 Г61 Численное моделирование течений вязкого газа в ударном слое : , Ю.П. Головачев, Москва: Наука; Физматлит, 1996

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

Изучение разделов дисциплины, выполнение практических заданий, подготовка к контрольным мероприятиям включает в себя две части: теоретическую и прикладную – непосредственное решение задачи.

В ходе лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

Теоретическая часть предполагает проработку разделов курса, относящихся к лабораторным или практическим заданиям. Необходимо определить раздел курса выполняемой работы, уяснить основные понятия, ознакомиться с решениями типовых задач и использовать их при решении задач. После этого следует приступить к решению задания.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов реализуется посредством работы с рекомендованной литературой (указана в Списке литературы в Рабочей Программе Учебной Дисциплины).

Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций и изучении рекомендованной литературы. Студентам рекомендуется получить в Библиотечно-информационном центре университета учебную литературу по дисциплине, необходимую для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых и дипломных работ.

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

На протяжении занятия полезно поддерживать интерактивность между лектором и студентами в виде вопросов в аудиторию. Важно задавать вопросы на знание материала из прошедших лекций или других курсов по мере обращения к нему или, по крайней мере, проговаривать их связь. Этим самым студенты могут почувствовать связь между различными навыками и их востребованность. Также важно постоянно задавать вопросы, озадачивающие студентов поднимаемой проблемой в рамках обсуждаемой темы (даже если она совсем частного характера), стимулируя внимание и творческое участие студента в ходе рассуждений лектора.

Важно разяснять происхождение вводимых терминов. Особенно это важно в случаях, когда прямое толкование неуместно или устарело.

Автор(ы):

Шаргатов Владимир Анатольевич, к.ф.-м.н., с.н.с.