

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы аспирантуры

 Р.А. Файзрахманов
д.э.н., проф., заведующий кафедрой ИТАС

«19» июня 2023 г.

Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры

«Избранные главы численных методов исследования сплошных сред»

Научная специальность	1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
Выпускающая кафедра:	Прикладная физика (ПФ)
Форма обучения	Очная
Курс: 2	Семестр (ы): 3
Виды контроля с указанием семестра:	
Зачет: 3	

Пермь 2023

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Избранные главы численных методов исследования сплошных сред» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

1.1 Цель учебной дисциплины – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области численных методов.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Избранные главы численных методов исследования сплошных сред» является дисциплиной по выбору образовательного компонента плана аспиранта.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- методы вычислительной гидродинамики; структуру и интерфейс современных систем численного моделирования и примеры их реализации

Уметь:

- формулировать математическую и численную модель для гидродинамической задачи; реализовать методы вычислительной гидродинамики с помощью различных инструментов программирования: в виде программ на языках FORTRAN или C++ или с применением специализированных программных средств компьютерного моделирования динамики жидкости (CFD-систем); самостоятельно осваивать и применять новые системы компьютерного моделирования;

Владеть:

- навыками построения физико-механических, математических и компьютерных моделей для решения задач вычислительной гидродинамики

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		3 семестр
1	Аудиторная работа	39
	В том числе:	
	Лекции (Л)	-
	Практические занятия (ПЗ)	32
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	7
	Самостоятельная работа (СР)	69
	Форма итогового контроля:	Зачет

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Численные методы в гидродинамике.

ПЗ – 12 ч, СРС - 32 ч, КСР – 3 ч.

Тема 1. **Элементы метода конечных разностей.** Разностные производные по пространству. Разностные производные по времени. Свойства разностных схем: согласованность, точность, устойчивость, эффективность. Методы интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений: метод Эйлера, Метод с «перешагиванием», явный двухшаговый метод, неявный метод, методы высоких порядков точности.

Тема 2. **Метод конечных разностей в механике жидкости.** Двухполевой метод (вихрь, функция тока) для плоских течений несжимаемой жидкости. Численное решение уравнений гидродинамики в переменных u, v, p .

Раздел 2. Решение задач гидродинамики с применением CFD-пакетов.

ПЗ – 20 ч, СРС - 37 ч, КСР – 4 ч.

Тема 3. Программная среда для решения уравнений в частных производных FlexPDE.

Метод конечных элементов. Возможности, особенности и состав МКЭ-пакета FlexPDE. Основы работы с пакетом FlexPDE. Рабочее окно программы, главное меню. Сценарий описания и решения задачи. Разделы и инструкции сценария. Операторы и функции FlexPDE. Моделирование гидродинамических процессов в среде FlexPDE: течение в канале, тепловая конвекция, конвекция в ячейке Хеле-Шоу, химические реакторы.

Тема 4. CFD-пакет ANSYS CFX (Fluent).

Метод конечных объемов. Возможности, особенности и состав пакета ANSYS. Основы работы с ANSYS CFX (Fluent). Создание и работа с проектом задачи в ANSYS Workbench. Создание геометрии задачи в ANSYS Design Modeler. Построение сетки в ANSYS Mesh. Этапы описания задачи в ANSYS CFX (Fluent). Моделирование гидродинамических процессов в пакете ANSYS CFX (Fluent): течение в канале, тепловая конвекция, химические реакторы, задачи со свободной поверхностью.

4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Устойчивость разностных схем	Собеседование.	Вопросы по

		для уравнений в частных производных.		темам /разделам дисциплины.
2	1	Метод прогонки для уравнения с трехдиагональной матрицей.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
3	1	Численные методы для уравнений в частных производных для сплошных сред. Методы интегрирования для параболических уравнений. Численное решение уравнения Пуассона.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
4	2	Метод конечных разностей в механике жидкости. Двухполевой метод для плоских течений несжимаемой жидкости.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
5	2	Метод конечных разностей в механике жидкости. Численное решение уравнений гидродинамики в переменных u, v, p .	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
6	3	Основы работы с пакетом FlexPDE.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
7	3	Моделирование гидродинамических процессов в среде FlexPDE. Течение в канале. Обтекание цилиндра.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
8	3	Моделирование гидродинамических процессов в среде FlexPDE. Тепловая конвекция.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
9	3	Моделирование гидродинамических процессов в среде FlexPDE. Конвекция в ячейке Хеле-Шоу. Химические реакторы.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
10	4	Основы работы с ANSYS CFX (Fluent).	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
11	4	Основы работы с ANSYS CFX (Fluent).	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
12	4	Основы работы с ANSYS CFX (Fluent).	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
13	4	Моделирование гидродинамических процессов в пакете ANSYS CFX (Fluent). Тепловая конвекция.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.

14	4	Моделирование гидродинамических процессов в пакете ANSYS CFX (Fluent). Химические реакторы.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
15	8	Моделирование гидродинамических процессов в пакете ANSYS CFX (Fluent). Задачи со свободной поверхностью.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.
16	4	Моделирование гидродинамических процессов в пакете ANSYS CFX (Fluent). Течения в каналах.	Собеседование.	Вопросы по темам /разделам дисциплины.

4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Ламинарный конвективный пограничный слой. Метод Рунге-Кутты. Метод Ньютона.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	2	Тепловая конвекция в квадратной полости. Двухполевой метод конечных разностей.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
3	2	Течение в канале. Метод конечных разностей в переменных скорость-давление.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
4	3	Моделирование химического реактора. Метод конечных элементов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
5	4	Гидродинамические задачи с поверхностью раздела жидкостей. Метод конечных элементов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Избранные главы численных методов исследования сплошных сред» аспирантам целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;
3. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1	2	3
1 Основная литература		
1	Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов : учебное пособие для вузов / В. М. Головизнин [и др.]. - Москва: Изд-во МГУ, 2013	35
2	Джеймсон Э., Мюллер Т. Дж., Боллхауз У. Ф., Краус В., Шмидт В., Белоцерковский О. М. Численные методы в динамике жидкостей. - М. : Мир, 1981.	6
3	Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. - Москва : Энергоатомиздат, 1984.	5
2 Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
4	Колесниченко В. И., Бурдин В. В. Гидродинамика и теплообмен. - Пермь: , Изд-во ПГТУ, 2011. - (Общая физика : учебное пособие; Ч. 4).	80+ЭБ
5	Колесниченко В. И., Шарифулин А.Н. Введение в механику несжимаемой жидкости. - Пермь: , Изд-во ПНИПУ, 2019.	10+ЭБ
6	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. - М: Наука, Физматлит, 1988. - (Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т.; Т. 6).	11
2.2. Периодические издания		
7	Вычислительная механика сплошных сред : журнал / Российская академия наук, Уральское отделение; Институт механики сплошных сред. - Пермь: ИМСС УрО РАН, 2008 - .	
8	Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа : научный журнал / Российская академия наук. - Москва: Наука, 1966 - .	
2.3. Нормативно-технические издания		
Не предусмотрены		
2.4 Официальные издания		
Не предусмотрены		

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. – Пермь, 2016. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии кн., журн. по гуманит., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Изд-ва «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. ProQuest Dissertations & Theses Global [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : дис. и дипломные работы на ин. яз. по всем отраслям знания] / ProQuest LLC. – Ann Arbor, 2016. – Режим доступа: <http://search.proquest.com/pqdtglobal/dissertations>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

4. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / Электрон. б-ка дис. – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

5. Cambridge Journals [Electronic resource : полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманит., естеств., и техн. наукам на англ. яз.] / University of Cambridge. – Cambridge : Cambridge University Press, 1770-2012. – Режим доступа: <http://journals.cambridge.org/>. – Загл. с экрана. 11.

6. Справочная Правовая Система КонсультантПлюс [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных правовой информ. : док., коммент., кн., ст., обзоры и др.]. – Версия 4015.00.02, сетевая, 50 станций. – Москва, 1992–2016. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование)	Кол-во, ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	4	Оперативное/удаленное управление	124 (корпус В)

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является зачет, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования.

- **Собеседование**

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета по дисциплине.

9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

Типовые творческие задания:

1. На основе заданного алгоритма составить программу на языке FORTRAN (C++) для реализации метода Рунге-Кутты решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений.
2. На основе инструкций, данных в учебных материалах, а также заранее подготовленных геометрии и сетки, составить проект ANSYS CFX (Fluent) и решить задачу тепловой конвекции, результаты представить в графическом виде.

Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний на зачете по дисциплине:

1. Метод МКЭ в задачах гидромеханики.
2. Начальные и граничные условия в методе МКЭ.
3. Метод конечного объема в задачах со сложной геометрией.
4. Модели турбулентности и параметры описания турбулентности в ANSYS CFX.
5. Базовые уравнения гидромеханики в ANSYS CFX: переноса импульса, переноса энергии, уравнение состояния.

Типовые контрольные задания для оценивания приобретенных умений и владений на зачете по дисциплине:

1. Сформулировать краевую задачу для исследуемой гидродинамической проблемы.
2. Продемонстрируйте работу с глобальными параметрами сетки в программе ANSYS MESH.

Полный комплект вопросов и заданий для сдачи зачетов в форме утвержденных билетов хранится на кафедре ПФ

Программа
Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» (ПНИПУ)

Кафедра
Прикладная физика

«Избранные главы численных методов исследования сплошных сред»

БИЛЕТ № 1

1. Реализация метода МКЭ в пакете ANSYS (контроль знаний).
2. Геометрическое моделирование в программе Design Modeler. Продемонстрируйте инструменты редактирования эскиза: Trim, Extend, Split (контроль умений).
3. Генерация конечно-элементной сетки в программе Mesh. Расскажите и продемонстрируйте работу с глобальными параметрами сетки (контроль умений).

Составитель _____
(подпись)

Фамилия И.О.

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

Фамилия И.О.

«___» _____ 202__ г.

Лист регистрации изменений

№ п.п.	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		