

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



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 28 » февраля 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Численные методы исследования в механике жидкости
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 108 (3)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 01.04.02 Прикладная математика и информатика
(код и наименование направления)

Направленность: Хемобиодинамика и биоинформатика
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование комплекса знаний, умений и навыков в области вычислительной гидродинамики.

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет, углубляет и демонстрирует следующие профессиональные компетенции:

- способность использовать и применять углубленные знания в области математики и информатики (ОПК-4);

- владеет методологией математического моделирования и вычислительной математики для решения научно-исследовательских и прикладных междисциплинарных задач на стыке физики, химии и биологии (ПСК-1).

Задачи дисциплины:

- формирование знаний об основных методах, практике их использования и современных проблемах вычислительной гидродинамики;

- формирование умений реализации методов вычислительной гидродинамики в виде программ на языках FORTRAN или C++, решать задачи гидродинамики с применением программных средств компьютерного моделирования динамики жидкости (CFD-систем);

- формирование навыков владения современными методами вычислительной гидродинамики, построения физико-механических, математических и компьютерных моделей для решения задач вычислительной гидродинамики.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- численные методы решения нелинейных алгебраических уравнений, систем линейных уравнений, систем разреженных уравнений с трех диагональной матрицей;

- численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений;

- численные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных для сплошных сред;

- основы метода конечных разностей и его свойства;

- моделирование гидродинамических процессов с применением программных средств компьютерного моделирования динамики жидкости (CFD-систем).

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.5	ИД-1ПК-1.5	Знает методы вычислительной гидродинамики; структуру и интерфейс современных систем численного моделирования и примеры их реализации	Знает классические результаты и последние достижения в механике жидкости, физико-химической гидродинамике, геномики и биоинформатике;	Зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.5	ИД-2ПК-1.5	Умеет формулировать математическую и численную модель для гидродинамической задачи; реализовать методы вычислительной гидродинамики в виде программ на языках FORTRAN или C++; решать задачи гидродинамики с применением программных систем компьютерного моделирования (CAE-систем); – самостоятельно осваивать и применять новые системы компьютерного моделирования	Умеет обосновывать выбор и творчески применять современные методы математического моделирования объектов и процессов на стыке механики жидкости, химии, биологии и информатики;	Индивидуальное задание
ПК-1.5	ИД-3ПК-1.5	Владеет общенаучными базовыми знаниями в области механики жидкости и газа; современными методами вычислительной гидродинамики; навыками построения физико-механических, математических и компьютерных моделей для решения задач вычислительной гидродинамики	Владеет навыками разработки и анализа новых математических моделей сложных систем и процессов для междисциплинарных задач, сформулированных на стыке механики жидкости, химии, биологии и информатики.	Индивидуальное задание

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	36	36	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	54	54	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
3-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Численные методы в гидродинамике	12	0	16	28
<p>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.</p> <p>Тема 2. Решение алгебраических уравнений и систем уравнений. Метод Ньютона. Метод Гаусса. Метод прогонки для уравнения с трехдиагональной матрицей.</p> <p>Тема 3. Численные методы для уравнений в частных производных для сплошных сред. Уравнения математической физики. Устойчивость разностных схем для уравнений в частных производных. Уравнение диффузии и уравнение переноса: явная схема интегрирования первого порядка точности. Консервативность на разностной сетке. Консервативные методы для гиперболических уравнений. Многомерные явные методы. Методы интегрирования для параболических уравнений. Численное решение уравнения Пуассона.</p> <p>Тема 4. Метод конечных разностей в механике жидкости. Двухполевой метод для плоских течений несжимаемой жидкости. Численное решение уравнений гидродинамики в переменных u, v, p.</p>				
Решение задач гидродинамики с применением CFD-пакетов	4	0	20	26
<p>Тема 5. 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.</p> <p>Тема 6. Моделирование гидродинамических процессов в среде FlexPDE. Течение в канале. Обтекание цилиндра. Тепловая конвекция. Конвекция в ячейке Хеле-Шоу. Химические реакторы. Фильтрационное течение в пористой среде: вытеснение нефти водой.</p> <p>Тема 7. CFD-пакет ANSYS CFX (Fluent). Метод конечных объемов. Возможности, особенности и состав пакета ANSYS Academic Student. Основы</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
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). Тема 8. Моделирование гидродинамических процессов в пакете AN-SYS CFX (Fluent). Течение в канале. Обтекание цилиндра. Тепловая конвекция. Химические реакторы. Фильтрационное течение в пористой среде. Задачи со свободной поверхностью.				
ИТОГО по 3-му семестру	16	0	36	54
ИТОГО по дисциплине	16	0	36	54

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Методы интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений: метод Эйлера, явный двухшаговый метод, методы высоких порядков точности (тема 1)
2	Решение алгебраических уравнений и систем уравнений. Метод Ньютона. Метод Гаусса (тема 2)
3	Метод прогонки для уравнения с трехдиагональной матрицей (тема 3)
4	Устойчивость разностных схем для уравнений в частных производных. Консервативность на разностной сетке (тема 3)
5	Численные методы для уравнений в частных производных для сплошных сред. Методы интегрирования для параболических уравнений. Численное решение уравнения Пуассона (тема 3)
6	Метод конечных разностей в механике жидкости. Двухполевой метод для плоских течений несжимаемой жидкости (тема 4)
7	Метод конечных разностей в механике жидкости. Численное решение уравнений гидродинамики в переменных u, v, p (тема 4)
8	Основы работы с пакетом FlexPDE (тема 5)
9	Моделирование гидродинамических процессов в среде FlexPDE. Течение в канале. Обтекание цилиндра (тема 6)
10	Моделирование гидродинамических процессов в среде FlexPDE. Тепловая конвекция (тема 6)
11	Моделирование гидродинамических процессов в среде FlexPDE. Конвекция в ячейке Хелл-Шоу. Химические реакторы (тема 6)
12	Основы работы с ANSYS CFX (Fluent) (тема 7)
13	Основы работы с ANSYS CFX (Fluent) (тема 7)
14	Основы работы с ANSYS CFX (Fluent) (тема 7)
15	Моделирование гидродинамических процессов в пакете ANSYS CFX (Fluent). Течения в каналах (тема 8)

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
16	Моделирование гидродинамических процессов в пакете ANSYS CFX (Fluent). Тепловая конвекция. Химические реакторы (тема 8)
17	Моделирование гидродинамических процессов в пакете ANSYS CFX (Fluent). Фильтрационное течение в пористой среде (тема 8)
18	Моделирование гидродинамических процессов в пакете ANSYS CFX (Fluent). Задачи со свободной поверхностью (тема 8)

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся 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. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях 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 и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Калиткин Н. Н. Численные методы : учебное пособие для вузов / Н. Н. Калиткин. - М.: Наука, 1978.	9

2	Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах : учебное пособие для втузов / В.И. Киреев, А.В. Пантелеев. - М.: Высш. шк., 2008.	22
3	Пирумов У. Г. Численные методы : учебное пособие для вузов / У. Г. Пирумов. - Москва: Дрофа, 2004.	20
4	Численные методы в динамике жидкостей : пер. с англ. / Э. Джеймсон [и др.]. - М.: Мир, 1981.	6
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. Патанкар. - Москва: Энергоатомиздат, 1984.	5
2	Поттер Д. Вычислительные методы в физике : пер. с англ. / Д. Поттер. - Москва: Мир, 1975.	2
2.2. Периодические издания		
1	Вычислительная механика сплошных сред : журнал / Российская академия наук, Уральское отделение; Институт механики сплошных сред. - Пермь: ИМСС УрО РАН, 2008 - .	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Ахметов В.К., Шкадов В.Я. Численное моделирование вязких вихревых течений для технических приложений. М: АСВ, 2009.	http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	Олдер Б., Фернбах С., Ротенберг М. Вычислительные методы в гидродинамике. М.: Мир, 1967	http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	Полежаев В.И., Бунэ А.В., Вerezуб Н.А. и др. Математическое моделирование конвективного теплообмена на основе уравнений Навье - Стокса. М.: Наука, 1987	http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm	сеть Интернет; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Elsevier "Freedom Collection"	https://www.elsevier.com/
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Springer Nature e-books	http://link.springer.com/ http://jwww.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://zbmath.org/ http://npg.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Лекционная аудитория, оборудованная электронным проектором и экраном	1
Лекция	Ноутбук	1
Практическое занятие	Персональный компьютер	4

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

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



«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

(приложение к рабочей программе дисциплины)

Дисциплина: Численные методы исследования в механике жидкости

Форма обучения: очная

Уровень высшего образования: магистратура

Направление подготовки: 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Профиль программы: Хемобиодинамика и биоинформатика

Выпускающая кафедра: Прикладной физики

Курс: 2 **Семестр:** 3

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 3 3Е

Часов по рабочему учебному плану: 108 ч.

Виды контроля с указанием семестра: Зачет, 3

Пермь 2023

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (3-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный			Промежуточный
	С	ПЗ	КР	ИЗ	ОПЗ	Зачет
Усвоенные знания (знает):						
3.1 - методы вычислительной гидродинамики;;	С1	ПЗ по темам 1-4	КР			ТВ
3.2 - структуру и интерфейс современных систем численного моделирования и примеры их реализации.		ПЗ по темам 5-8	КР			ТВ
Умеет:						
У.1 - реализовать методы вычислительной гидродинамики в виде программ на языках FORTRAN или C++;		ПЗ по темам 1-4		ИЗ	ОПЗ	ПЗ
У.2 - решать задачи гидродинамики с применением программных систем компьютерного моделирования (CAE-систем);		ПЗ по темам 5-8		ИЗ	ОПЗ	ПЗ
У.3 - самостоятельно осваивать и применять новые системы компьютерного моделирования.		ПЗ по те-		ИЗ	ОПЗ	ПЗ

		мам 5-8				
Владеет:						
В.1 - современными методами вычислительной гидродинамики;		ПЗ по темам 1-4		ИЗ	ОПЗ	ПЗ
В.2 - навыками построения физико-механических, математических и компьютерных моделей для решения задач вычислительной гидродинамики.		ПЗ по темам 1-8		ИЗ	ОПЗ	ПЗ

ПЗ – текущий контроль в форме проверки результатов выполнения заданий практических занятий; ОПЗ – рубежный контроль в форме проверки отчётов по практическим занятиям; ИЗ – рубежный контроль в форме проверки отчётов по индивидуальным заданиям, ТВ – теоретический вопрос зачета.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланчного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Отчеты по индивидуальным заданиям (лабораторным работам)

Всего запланировано 6 индивидуальных заданий. Типовые темы индивидуальных заданий приведены в РПД.

Отчет по индивидуальному заданию составляется, и его защита проводится индивидуально каждым студентом. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.2. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 2 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Численные методы в гидродинамике», вторая КР – по модулю 2 «Моделирование гидродинамических процессов с помощью CFD-пакетов».

Типовые задания первой КР:

1. Основные свойства конечно-разностных схем: аппроксимация, устойчивость, сходимость, консервативность.
2. Явные конечно-разностные схемы.
3. Неявные конечно-разностные схемы.

Типовые задания второй КР:

1. Составить математическую модель задачи тепловой конвекции в квадратной полости.
2. Метод конечных элементов.
3. Метод конечных объемов.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех ла-

бораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций.

2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Система уравнений гидродинамики: уравнение переноса импульса (Навье-Стокса), переноса энергии, диффузии-конвекции-реакции.
2. Аппроксимация конечными разностями производных по пространству и по времени.
3. Свойства разностных схем: точность, сходимость, устойчивость, консервативность
4. Методы интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений: метод Эйлера, методы высоких порядков точности.
5. Классификация ДУ математической физики. Постановки краевых задач.
6. Численное решение уравнений параболического типа. Конечноразностные схемы.
7. Метод конечных разностей для решения уравнений гиперболического типа.
8. Метод конечных разностей для решения уравнений эллиптического типа.
9. Типы граничных условий для ДУ математической физики. Аппроксимация граничных условий в методе конечных разностей.
10. Решение систем алгебраических уравнений: метод прогонки для уравнения с трехдиагональной матрицей. Решение уравнения Пуассона.
11. Метод конечных разностей в механике жидкости. Двухполевой метод для плоских течений несжимаемой жидкости.
12. Метод конечных разностей в механике жидкости. Численное решение уравнений гидродинамики в переменных u, v, p .

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Сформулировать краевую задачу для исследуемой гидродинамической проблемы.
2. На основе заданного алгоритма составить программу на языке FORTRAN (C++) для реализации метода Рунге-Кутты решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений.
3. Составить программу на языке FORTRAN (C++) для решения одномерной задачи теплопроводности в стержне. Организовать экспорт результатов решения задачи в файл данных.
4. Произвести визуализацию физических полей результатов решения двумерной гидродинамической задачи в Paraview или аналогичном пакете визуализации.

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. Сформулировать краевую задачу для исследуемой гидродинамической проблемы: тепловая конвекция в квадратной полости при подогреве снизу. Составить программу для решения задачи в программном пакете FlexPDE, результаты представить в графическом виде.
2. Сформулировать краевую задачу для исследуемой одномерной проблемы диффузии. Составить программу на языке FORTRAN (C++) для решения краевой задачи. Произвести экспорт результатов решения задачи в файл данных.

2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей

части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

Типовые индивидуальные задания для проверки умений и владений

Проверяемые результаты обучения: $y1 - y3$; $v1 - v2$

При выполнении индивидуального задания студенту необходимо сформулировать математическую модель гидродинамической задачи, разработать сценарий ее решения, реализовать поставленную задачу в виде программного кода, привести результаты выполненных расчетов и произвести их анализ, оформить отчет о выполнении работы. Список типовых тем:

- Ламинарный конвективный пограничный слой. Метод Рунге-Кутты. Метод Ньютона.
- Краевая задача теории гидродинамической устойчивости. Метод дифференциальной прогонки.
- Тепловая конвекция в квадратной полости. Двухполевой метод конечных разностей.
- Конвекция в плоском (цилиндрическом) слое. Двухполевой метод конечных разностей.
- Течение в канале. Метод конечных разностей в переменных скорость-давление.
- Обтекание цилиндра. Метод конечных элементов.
- Моделирование химического реактора. Метод конечных элементов.
- Волны на поверхности жидкости. Метод конечных элементов.

Критерии оценки индивидуальных заданий

Оценка «зачтено» ставится, если в работе с использованием произвольных средств и методов достигнуты основные результаты, указанные в задании, качество оформления отчета в основном соответствует установленным в вузе требованиям и при защите студент проявил удовлетворительное владение материалом работы и способность отвечать на большинство поставленных вопросов по теме работы.

Оценка «не зачтено» ставится, если в работе не достигнуты основные результаты, указанные в задании или качество оформления отчета не соответствует установленным в вузе требованиям, или при защите студент проявил неудовлетворительное владение материалом работы и не смог ответить на большинство поставленных вопросов по теме работы.