

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

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы



А.В. Перминов
д.ф.-м.н., зав. каф. общей физики

«30» мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры

«Вычислительная гидродинамика»

Научная специальность	1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Механика жидкости, газа и плазмы
Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Общая физика, Прикладная физика
Форма обучения	Очная
Курс: 2	Семестр (ы): 4
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен:	Зачет: 4
	Диф.зачет

Пермь 2022

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Автоматизированные системы обработки информации и управления производственными процессами» 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 вычислительной гидродинамики.

В процессе изучения данной дисциплины аспирант формирует следующие **компетенции**: самостоятельно осваивать и применять новые теории, физико-математические и вычислительные методы, новые системы компьютерной математики и системы компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга (CAD/CAE-системы) для эффективного решения профессиональных задач.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Вычислительная гидродинамика» является дисциплиной по выбору вариативной части цикла базового учебного плана.

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

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

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

Уметь:

- математически формулировать физическую задачу;
- рационально сочетать аналитические методы и численные методы вычислительной гидродинамики;
- самостоятельно осваивать и применять новые системы компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга.

Владеть:

- физико-математическим аппаратом
- навыками по самостоятельному изучению новых вычислительных методов, новых систем компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		4 семестр
1	Аудиторная работа	21
	В том числе:	
	Лекции (Л)	0
	Практические занятия (ПЗ)	16
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	5
	Самостоятельная работа (СР)	51
	Форма итогового контроля:	Экзамен

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Изучение комплекса ANSYS ICEM CFD

(ПЗ – 4, СР – 13)

Тема 1. ICEM CFD. Построение неструктурированной сетки Tetra

Тема 2. Построение структурированной сетки Hexa

Раздел 2. Изучение комплекса ANSYS Fluent

(ПЗ – 4, СР – 13)

Тема 3. Общее описание и интерфейс ANSYS Fluent. Выражения. Функции

Тема 4. Стационарный расчёт в ANSYS Fluent. Графики. Анимация

Раздел 3. Моделирование физических процессов в насосах

(ПЗ – 8, СР – 25)

Тема 5. Расчёт ступени осевого насоса

Тема 6. Расчёт ступени диагонального насоса

Тема 7. Расчёт ступени центробежного насоса

Тема 8. Расчёт ступени центробежно-вихревого насоса

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	ICEM CFD. Неструктурированные расчётные сетки <ol style="list-style-type: none"> 1. Описание интерфейса. 2. Модуль Geometry. Построение геометрических объектов: возможности ICEM 3. Использование модуля Tetra для построения пространственных неструктурированных расчетных сеток. 4. Настройка параметров разбиения модели. Глобальный и локальные размеры. Создание областей локального сгущения 	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

3	2	Моделирование течения в перемешивающей трубе 1. Общее описание и интерфейс ANSYS Fluent. Импорт расчётных сеток. Типы граничных условий. Быстрый старт в ANSYS Fluent (Quick Setup) 2. Пользовательские функции, переменные и выражения 3. Fluent -Solver. Основные параметры решателя. Расчёт течения в перемешивающей трубе Fluent-Post. Основные способы и инструменты визуализации	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
5	3	Расчёт осевой ступени 1. Расчёт осевой ступени 2. Определение напора и КПД ступени	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
6	3	Расчёт диагональной ступени 1. Особенности построения расчётной сетки 2. Расчёт потерь энергии в канале	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

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	Структурированные расчётные сетки 1. Модуль Неха 2. Блокинг 3. Построение структурированной гексагональной сетки 4. Обзор основных критериев качества сетки	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	2	Моделирование течения в осевом роторе и статоре 1. Типы интерфейсов: периодичность, интерфейс между рабочим колесом и направляющим аппаратом 2. Вращение области. Анализ результатов расчёта в постпроцессоре	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	3	Расчёт центробежной ступени 1. Особенности построения расчётной сетки 2. Расчёт потерь энергии в канале	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	3	Расчёт ступени ВНН 1. Особенности построения расчётной сетки	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины.

		2. Эффект вихревого венца 3. Сравнение характеристик с ЭЦН без вихревого венца	Темы творческих заданий.
--	--	-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Вычислительная механика» 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+кафедре; местонахождение электронных изданий
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 Дополнительная литература		
2.1 Учебно-методические, научные издания		
1	Пашинин П.П. Вычислительная гидродинамика природных течений. - М.: Наука, 1997.	1
2	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Изд. 3. М: Наука, 1986.	5
3	Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 7-ое изд., испр. - М. Дрофа, 2003.	116
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	Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа : научный журнал / Российская академия наук. - Москва: Наука, 1966 - .	
2.3 Нормативно-технические издания		
1	Не используется	
2.4 Официальные издания		
1	Не используется	

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. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : мультидисциплинар. электрон. версии журн. на ин. яз.] / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 2000-2016. – Режим доступа: <http://elibrary.ru>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. Scopus [Электронный ресурс] : [мультидисциплинар. реф.-библиограф. и наукометр. база данных на англ. яз.] / Elsevier B. V. – Amsterdam, 2016. – Режим доступа: <http://www.scopus.com>, 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. Web of Science [Электронный ресурс] : [мультидисциплинар. реф.-библиограф. и наукометр. база данных на англ. яз.] / Thomson Reuters. – New York, 2016. – Режим доступа: <http://apps.webofknowledge.com>, по IP-адресам компьютер. сети 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 ASUS на базе процессоров Intel Core i5 – 2320, CPU 3 GHz	6	Оперативное управление	252

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 и защиты отчета о творческом задании.

• 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.

• Защита отчета о творческом задании

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут 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. Зачет по дисциплине выставляется на основании оценок текущего контроля за собеседования и творческие задания

Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче зачета:

Текущий контроль для комплексного оценивания показателей знаний, умений и владений проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

• Собеседование

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

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Таблица 5 Критерии и показатели оценивания собеседования

Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного материала
Зачтено	Аспирант достаточно свободно использует фактический материал по заданному вопросу, умеет определять причинно-следственные связи событий, логично и грамотно, с использованием профессиональной терминологии обосновывает свою точку зрения.
Незачтено	Аспирант демонстрирует полное незнание материала или наличие бессистемных, отрывочных знаний, связанных с поставленным перед ним вопросом, при этом не

	ориентируется в профессиональной терминологии.
--	------------------------------------------------

• **Защита отчета о творческом задании**

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Таблица 6 Критерии оценивания защиты отчета творческого задания

Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного материала
<i>Зачтено</i>	Аспирант выполнил творческое задание успешно, показав в целом систематическое или сопровождающееся отдельными ошибками применение полученных знаний и умений , аспирант ориентируется в предложенном решении, может его модифицировать при изменении условия задачи. Аспирант может объяснить полностью или частично полученные результаты.
<i>Незачтено</i>	Аспирант допустил много ошибок или не выполнил творческое задание.

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

10.1 Типовые творческие задания:

1. Построение неструктурированной Tetra сетки для перемешивающей трубы.
2. Построение структурированной сетки для дыма из трубы.
3. Провести расчёт в перемешивающей трубе для заданных граничных условий. Построить контур распределения температур. Определить температуру на выходе.
4. Провести расчёт выхода дыма из трубы для заданных граничных условий, записать анимацию.
5. Провести расчёт осевого ротора-статора для заданного массового расхода. Построить полученную картину течения для полного канала.
6. Построить расчётные сетки для заданной модели рабочего колеса и направляющего аппарата.
7. Определить напор и КПД для заданного расхода конкретной ступени.
8. Определить коэффициент сепарации в гравитационном сепараторе для заданных расхода и размера частиц.
9. Получить распределение газа на выходе из сепаратора. Создать анимацию: изменение распределения газа от входа к выходу.

10.2 Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний на зачете по дисциплине:

1. Построение геометрии в ICEM CFD. Типы сеток в ICEM CFD. Особенности построения. Вытягивание сетки.
2. ANSYS Fluent: Выражения. Функции. Графики. Анимация. Нестационарный расчёт. Изучение ANSYS Fluent Tutorials.
3. Моделирование лопаточных машин в ANSYS Fluent.
4. Моделирование движения твердых частиц в ANSYS Fluent.
5. Моделирование движения пузырьков в ANSYS Fluent.
6. Моделирование передачи тепла в ANSYS Fluent.

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

1. Расчёт осевой ступени.
2. Расчёт диагональной ступени.
3. Расчёт центробежной ступени.
4. Расчёт центробежно-вихревой ступени.
5. Моделирование движения твердых частиц.
6. Моделирование износа проточных каналов гидромашин.
7. Моделирование движения пузырьков в газосепараторе.

Полный комплект вопросов и заданий в форме утвержденных билетов хранится на кафедре «ОФ».

Лист регистрации изменений

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