

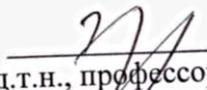


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы аспирантуры

 С.Х. Загидуллин
д.т.н., профессор кафедры ОАХП

«09» «08» 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры
«Применение методов вычислительной гидродинамики
в химической технологии»**

Научная специальность	2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Процессы и аппараты химических технологий
Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Оборудование и автоматизация химических производств (ОАХП)
Форма обучения	Очная
Курс: 2	Семестр (ы): 3
Виды контроля с указанием семестра: Экзамен: Зачёт: 3	Диф. Зачёт:

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Применение методов вычислительной гидродинамики в химической технологии» 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 № 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 химической технологии.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Применение методов вычислительной гидродинамики в химической технологии» является обязательной дисциплиной образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий.

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

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- уравнения гидродинамики;
- методы решения уравнений гидродинамики;

Уметь:

- применять уравнения гидродинамики для решения практических задач;

Владеть:

- навыками решения уравнений гидродинамических и гидродинамических моделей с помощью пакетов прикладных программ.

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объём 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:	Зачёт

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Основные уравнения и модели гидродинамики и методы их решения.

(Л – 0; ПЗ – 32; СР – 69)

Тема 1. Предмет, задачи и методы вычислительной гидродинамики (ВГ).

Тема 2. Уравнение Навье-Стокса. Практические приложения. Методы решения.

Тема 3. Уравнения теплопроводности и теплопереноса. Практические приложения. Методы решения.

Тема 4. Уравнение Эйлера и Стокса. Практические приложения. Методы решения.

Тема 5. Уравнение Стокса. Практические приложения. Методы решения.

Тема 6. Уравнение турбулентной диффузии. Методы определения коэффициента турбулентной диффузии. Практические приложения. Методы решения.

Тема 7. Уравнение Бернулли. Практические приложения. Методы решения.

Тема 8. Численное дифференцирование и интегрирование. Практическое приложение.

4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	№ темы	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Предмет, задачи и методы вычислительной гидродинамики.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	2	Уравнение Навье-Стокса. Методы решения.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	3	Уравнения теплопроводности и теплопереноса. Методы решения.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	4	Уравнение Эйлера и Стокса. Методы решения.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
5	5	Уравнение Стокса. Методы решения.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
6	6	Уравнение турбулентной диффузии. Методы определения коэффициента турбулентной диффузии. Методы решения.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
7	7	Уравнение Бернулли. Методы решения.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
8	8	Численное дифференцирование и интегрирование.	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 занятий

№ п.п.	№ темы	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	2	Уравнение Навье-Стокса. Практические приложения.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий
2	3	Уравнения теплопроводности и теплопереноса. Практические приложения.	Собеседование. Творческое задание	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий
3	4	Уравнение Эйлера и Стокса. Практические приложения.	Собеседование. Творческое задание	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий

№ п.п.	№ темы	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
4	5	Уравнение Стокса. Практические приложения.	Собеседование. Творческое задание	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий
5	6	Уравнение турбулентной диффузии. Методы определения коэффициента турбулентной диффузии. Практические приложения.	Собеседование. Творческое задание	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий
6	7	Уравнение Бернулли. Практические приложения.	Собеседование. Творческое задание	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий
7	8	Численное дифференцирование и интегрирование. Практические приложения.	Собеседование. Творческое задание	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Применение методов вычислительной гидродинамики в химической технологии» 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)	Кол-во экземпляров в библиотеке + кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1 Основная литература		
1	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник – М.: ООО «Альянс», 2014. – 753 с.	50
2	Семенов В.П. Основы механики жидкости: учебное пособие / В. П. Семенов; Магнитогорский государственный университет. – Москва: Флинта: Наука, 2013. – 373 с.	2
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебно-методические, научные издания		
1	Башкин В.А. Численное моделирование динамики вязкого совершенного газа / В. А. Башкин, И. В. Егоров. – Москва: Физматлит, 2012. – 371 с.	1
2	Иногамов Н.А. Гидродинамика перемешивания. Периодические структуры. Усиление субгармоник. Инверсный каскад / Н.А. Иногамов, А.Ю. Демьянов, Э.Е. Сон. – М.: Изд-во МФТИ, 1999. – 464 с.	2
3	Синайский Э.Г. Гидродинамика физико-химических процессов / Э.Г. Синайский. – М.: Недра, 1997. – 339 с.	1
4	Белов А.И. Моделирование гидромеханических процессов в технологии изготовления полупроводниковых приборов и микросхем / И. А. Белов, В. А. Шеленшкевич, Л. И. Шуб. – Ленинград: Политехника, 1991. – 288 с.	5
5	Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с. англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 150 с.	1
2.2 Периодические издания		
1	Журнал «Химическая промышленность сегодня»	

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Кол-во экземпляров в библиотеке + кафедре; местонахождение электронных изданий
2	Журнал «Теоретические основы химической технологии»	
3	Журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение»	
4	Журнал «Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология.	
5	Журнал «Журнал прикладной химии»	
6	Журнал «Вычислительные технологии»	
7	Журнал «Прикладная информатика»	
2.3 Нормативно-технические издания		
–		
2.4 Официальные издания		
–		

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 гуманитар., 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.](http://elibrary.rsl.ru) – 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 гуманитар., 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. Информационная система Техэксперт: Интранет [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных правовой информ.: законодат. и норматив. док., коммент., журн. и др.] / Кодекс. – Версия 6.3.2.22, сетевая, 50 рабочих мест. – Санкт-Петербург, 2009-2013. – 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.)	№ аудитории
1	2	3	4	5
1	Лабораторная установка для изучения гидродинамики потоков в насадочной колонне	1	оперативное управление	105, к. Б
2	Лабораторная установка для изучения кипящего (псевдооживленного) слоя	1	оперативное управление	105, к. Б
3	Компьютер Intel Pentium 4 CPU 2,4 GHz.	5	оперативное управление	110, к. Б
4	Intel Pentium 2 350 MGz	1	оперативное управление	110, к. Б
5	AMD Athlon (tm) 1 ГГц	2	оперативное управление	110, к. Б
6	AMD Athlon (tm) XP 15007	1	оперативное управление	110, к. Б
7	AMD Athlon (tm) 900 MHz	1	оперативное управление	110, к. Б
8	Intel Celeron 400 MGz	1	оперативное управление	110, к. Б

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является зачёт, проводимый с учётом 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 отчёта о творческом задании (при наличии задания)

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 зачёта по дисциплине, в устно-письменной форме.

Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче зачёта:

Оценка результатов обучения по дисциплине проводится по 2-балльной системе оценивания путём выборочного контроля во время зачёта.

Шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачёта приведены в табл. 5

Шкала оценивания результатов освоения на зачёте

Оценка	Критерии оценивания
<i>Зачёт</i>	Аспирант уверенно или менее уверенно выступил с докладом на зачёте. Показал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания в рамках усвоенного учебного материала, показал успешное или сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.
<i>Незачёт</i>	Аспирант неуверенно выступил с устным докладом на зачёте или не подготовил ответ. При ответах аспирант продемонстрировал фрагментарные знания . При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов и неточностей. Проявил частично усвоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.

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

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи зачёта по дисциплине «Применение методов вычислительной гидродинамики в химической технологии» разработан с учётом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Разработать алгоритм решения задачи расчёта теплообменника методами математического моделирования для структуры потока идеального вытеснения.
2. Методы экспериментального определения коэффициента турбулентной диффузии.
3. Разработать модель процесса массовой кристаллизации для аппарата со структурой потока аналогичной ячеечной модели с рециркуляцией.

Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний при сдаче зачёта по дисциплине:

1. Уравнение конвективной теплопроводности.
2. Уравнения Эйлера и Стокса.
3. Уравнения конвективного и диффузионного переноса.

Типовые контрольные задания для оценивания приобретённых умений и владений на зачёте по дисциплине:

1. Используя компьютер решить задачу расчёта теплообменника методами математического моделирования для структуры потока идеального вытеснения. Сравнить полученные результаты с результатами расчёта теплообменника методами физического моделирования.
2. По представленным результатам эксперимента определить значение коэффициента турбулентной диффузии в аппарате трубчатого типа.
3. По представленным данным с помощью компьютера рассчитать процесс массовой кристаллизации, протекающей в аппарате со структурой потока аналогичной ячеечной модели.

Полный комплект вопросов и заданий хранится на кафедре «ОАХП».

Лист регистрации изменений

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