


ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Утверждено:
на заседании кафедры
протокол №5 от «12» января 2022г.

Согласовано:
Председатель УМК ФТИ

Зав. кафедрой  / Ковалева Л.А.

 / Балапанов М.Х.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

дисциплина Современные методы моделирование многофазных сред


Б1.В.ДВ.04.02 часть, формируемая участниками образовательных отношений, дисциплина по выбору

программа бакалавриата

Направление подготовки
03.03.01 «Прикладные математика и физика»

Направленность подготовки
«Моделирование физических процессов и технологий»

Квалификация
Бакалавр


<p>Разработчик (составитель) <u>Доцент, кандидат физико-математических наук</u></p>	<p> <u>/Солнышкина О.А.</u></p>
---	---

Для приема: 2022 г.

Уфа 2022 г.

Составитель / составители: Солнышкина О.А.

Рабочая программа дисциплины *утверждена* на заседании кафедры протокол от «12» января 2022 г. № 5

Заведующий кафедрой  / Л.А.Ковалева

Список документов и материалов

программа магистратуры	1
Список документов и материалов.....	3
1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	4
2 Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	6
3 Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) .	6
4 Фонд оценочных средств по дисциплине.....	6
4.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.....	6
4.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	9
4.3 Рейтинг-план дисциплины	Ошибка! Закладка не определена.
5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	12
5.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	12
5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	12
6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	13
СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ.....	15

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

По итогам освоения дисциплины обучающийся должен достичь следующих результатов обучения:

Категория (группа) компетенций (при наличии ОПК)	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
	ПК-2 способностью анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ИД-1ПК-2. Знает подходы к анализу полученных в ходе научно-исследовательской работы данных и формулированию научных выводов (заключений);	Знает современные подходы к моделированию многофазных течений и анализу полученных данных;
		ИД-2ПК-2. Умеет анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения);	Умеет анализировать данные и делать научные выводы по изучению динамики многофазных сред с помощью реализованных современных численных методов;
		ИД-3ПК-2. Владеет способностью анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения).	Владеет навыками получения и анализа данных, а также формулирования корректных научных выводов при изучении динамики многофазных сред с помощью реализованных современных численных методов
	ПК-3 готовностью выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы	ИД-1ПК-3. Знает подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	Знает современные подходы к моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;

	исследований для решения задач в избранной предметной области	ИД-2ПК-3. Умеет выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	Умеет выбирать и применять современные подходы к моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;
		ИД-3ПК-3. Владеет готовностью выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	Владеет готовностью выбирать и применять наиболее эффективные современные подходы к численному моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;

2 Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Современные методы моделирование многофазных сред» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений и является дисциплиной по выбору.

Дисциплина изучается на 4 курсе в 7 и 8 семестрах.

Целями освоения дисциплины «Современные методы моделирование многофазных сред» является получение студентами теоретических знаний и практических навыков в области математического описания и численного моделирования динамики многофазных сред, а также ознакомление с современным состоянием теории многофазных сред: освоение основных современных эффективных методов численного моделирования многофазных потоков в трехмерном случае; освоение программных средств для реализации эффективных методов расчета двухфазных течений в трехмерном случае; получение навыков реализации программного кода, получения и анализа данных при изучении динамики дисперсных систем под действием различных потоков.

Для освоения дисциплины «Многофазные течения в трубах» необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

- Математический анализ
- Аналитическая геометрия
- Линейная алгебра
- Дифференциальные уравнения
- Векторный и тензорный анализ
- Механика сплошных сред
- Программирование

Знания и умения, накопленные при изучении дисциплины «Современные методы моделирование многофазных сред», используются при изучении спецкурсов, выполнении выпускной квалификационной работы и при дальнейшем обучении в магистратуре.

3 Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

4 Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

ПК-2 – способностью анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачтено	Зачтено

ИД-1ПК-2. Знает подходы к анализу полученных в ходе научно-исследовательской работы данных и формулированию научных выводов (заключений);	Знает современные подходы к моделированию многофазных течений и анализу полученных данных;	Отсутствие знаний об основных подходах к моделированию многофазных сред;	Сформированные знания об основных подходах к моделированию многофазных сред;
ИД-2ПК-2. Умеет анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения);	Умеет анализировать данные и делать научные выводы по изучению динамики многофазных сред с помощью реализованных современных численных методов;	Отсутствие умений анализировать данные и делать научные выводы по изучению динамики многофазных сред;	Умение анализировать данные и делать научные выводы по изучению динамики многофазных сред;
ИД-3ПК-2. Владеет способностью анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения).	Владеет навыками получения и анализа данных, а также формулирования корректных научных выводов при изучении динамики многофазных сред с помощью реализованных современных численных методов	Отсутствие владения методами получения и анализа данных, а также формулирования корректных научных выводов при изучении динамики многофазных сред;	Успешное владение методами получения и анализа данных, а также формулирования корректных научных выводов при изучении динамики многофазных сред;

ПК-3 – готовностью выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области

Код и наименование индикатора	Результаты обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачтено	Зачтено

достижения компетенции			
ИД-1ПК-3. Знает подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	Знает современные подходы к моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;	Отсутствие знаний об основных подходах к моделированию многофазных сред;	Сформированные знания об основных подходах к моделированию многофазных сред;
ИД-2ПК-3. Умеет выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	Умеет выбирать и применять современные подходы к моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;	Отсутствие умений оценивать степень применимости современных подходов к моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;	Умение оценивать применимость и эффективность современных подходов к моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;
ИД-3ПК-3. Владеет готовностью выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	Владеет готовностью выбирать и применять наиболее эффективные современные подходы к численному моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;	Отсутствие владения методами выбора и применения современных подходов к численному моделированию задач динамики многофазных сред;	Успешное владение методами выбора и применения наиболее эффективных современных подходов к численному моделированию задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;

Критерии оценки:

- **зачтено.** Умеет отвечать на вопросы по предмету, успешно выполнены все требуемые задания курса.
- **не зачтено.** Не умеет отвечать на вопросы по предмету, все требуемые задания курса не выполнены.

4.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Оценочные средства
ИД-1ПК-2. Знает подходы к анализу полученных в ходе научно-исследовательской работы данных и формулированию научных выводов (заключений);	Знает современные подходы к моделированию многофазных течений и анализу полученных данных;	Лабораторные работы
ИД-2ПК-2. Умеет анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения);	Умеет анализировать данные и делать научные выводы по изучению динамики многофазных сред с помощью реализованных современных численных методов;	Лабораторные работы
ИД-3ПК-2. Владеет способностью анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения).	Владеет навыками получения и анализа данных, а также формулирования корректных научных выводов при изучении динамики многофазных сред с помощью реализованных современных численных методов	Лабораторные работы
ИД-1ПК-3. Знает подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	Знает современные подходы к моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;	Лабораторные работы
ИД-2ПК-3. Умеет выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для	Умеет выбирать и применять современные подходы к моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;	Лабораторные работы

решения задач в избранной предметной области		
ИД-ЗПК-3. Владеет готовностью выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	Владеет готовностью выбирать и применять наиболее эффективные современные подходы к численному моделированию для решения задач динамики многофазных сред в трехмерном случае;	Лабораторные работы

Темы лабораторной работы №1

- Тема 1.1 Программная реализация структуры данных для решения задачи динамики капли вязкой жидкости в неограниченном объеме другой вязкой жидкости с помощью метода граничных элементов в трехмерном случае

Темы лабораторной работы №2

- Тема 2.1 Программная реализация формирования сингулярной и регулярной части системной матрицы для решения задачи динамики капли вязкой жидкости в неограниченном объеме другой вязкой жидкости с помощью метода граничных элементов в трехмерном случае

Темы лабораторной работы №3

- Тема 3.1 Программная реализация расчета поля скорости внутри и снаружи капли при решении задачи о динамике капли вязкой жидкости в неограниченном объеме другой вязкой жидкости под действием заданного внешнего потока с помощью метода граничных элементов в трехмерном случае.

Темы лабораторной работы №4

- Тема 4.1 Программная реализация расчета аналитического решения для задачи об обтекании капли вязкой жидкости с фиксированным центром другой вязкой жидкости.

Темы лабораторной работы №5

- Тема 5.1 Численное решение задачи о деформации жидкой капли при сдвиговом течении с помощью метода граничных элементов в трехмерном случае.
Тема 5.2 Численное решение задачи об осаждении жидкой капли в объеме вязкой жидкости с помощью метода граничных элементов в трехмерном случае.

Темы лабораторной работы №6

- Тема 6.1 Проведение параметрического исследования динамики жидкой капли при сдвиговом течении с помощью метода граничных элементов в трехмерном случае. Анализ результатов, формирование научного отчета.
Тема 6.2 Проведение параметрического исследования осаждения жидкой капли в объеме вязкой жидкости с помощью метода граничных элементов в трехмерном случае. Анализ результатов, формирование научного отчета.

Вопросы к текущему и рубежному контролю по теоретическому материалу

Вопросы к зачету:

1. Понятие дисперсных систем. Основные подходы к классификации дисперсных систем.
2. Классификация дисперсных систем в зависимости от типа фаз. Приведите примеры.
3. Типы эмульсий: прямая, обратная, бинепрерывная.
4. Ламинарное течение жидкости.
5. Уравнение Навье-Стокса. Упрощение уравнения Навье-Стокса в случае медленных течений.
6. Что определяет число Рейнольдса. Приведите формулу.
7. Что определяет число Бонда. Приведите формулу.
8. Что определяет число Струхала. Приведите формулу.
9. Что характеризует капиллярное число. Приведите формулу.
10. Что такое дивергенция, приведите формулу. В чем физический смысл дивергенции.
11. Сдвиговое течение.
12. Ньютоновская жидкости и ее реология. Вязкость.
13. Основные реологические модели дисперсных систем.
14. Метод граничных элементов. Основные понятия.
15. Принцип взаимности Лоренца.
16. Переход от дифференциальных уравнений в частных производных к гранично-интегральным уравнениям.
17. Вывод гранично-интегральных уравнений для случая динамики смеси двух вязких жидкостей капельной структуры.
18. Формирование и расчет элементов системной матрицы. Сингулярные и регулярные части матрицы. Метод вычитания сингулярности.
19. Основные подходы к ускорению метода граничных элементов. Алгоритмическое и аппаратное ускорение.

Критерии оценки:

- **зачтено**. Умеет отвечать на вопросы по предмету, успешно выполнены все требуемые задания курса.
- **не зачтено**. Не умеет отвечать на вопросы по предмету, все требуемые задания курса не выполнены.

5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. Ладыженская О. А. Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. Изд. Наука. М.: 1970. - 288 с.
2. Хаппель Дж., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. М.: Мир. - 1976. – 623 с.
3. Pozrikidis C. Boundary Integral and Singularity Methods for Linearized Viscous Flow. Cambridge, MA: Cambridge University Press. - 1992. - 259 p.
4. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. Т. 6. Гидродинамика. – 5-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 736 с.

Дополнительная литература:

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Часть 1. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 464 с.
2. Бреббия К., Теллес Ж., Врорубел Л. Методы граничных элементов. М.: Мир, 1987. - 524 с.

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

1. Сайт, посвящённый методу граничных элементов <http://www.boundary-element-method.com//>

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Типы аудиторий	Наименование учебных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Наименование оборудования	Лицензионное программное обеспечение
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	
1. Учебные аудитории для проведения учебных занятий	Аудитория № 218	Оборудование: учебная мебель, учебно-наглядные пособия, кондиционер (сплит-система) Haier HSU-24HEK203/R2- HSU-24HUN03/R2, экран настенный с электроприводом ClassicLyra 203x203 (E195x195/1 MW-L8/W), ноутбук HPMini 110-3609er Atom N455/2/250/WiFi/BT/Win 7St/10.1"/1.29кг, проектор BenQ MX520 (9H.J6V77.13E/9H.J6V77.13F).	<p align="center">Программное обеспечение</p> <p>1. Windows 8 Russian. OLP NL OLP NL AcademicEdition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>2. Windows Professional 8 Russian. OLP NL AcademicEdition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>3. Microsoft Office Standart 2013 Russian. OLP NL OLP NL AcademicEdition. Договор № 114 от 12.11.2014 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>Лицензионное программное обеспечение, позволяющее проводить компьютерное тестирование:</p> <p>1. Moodle «Официальный оригинальный английский текст лицензии для системы Moodle - http://www.gnu.org/licenses/gpl.html»</p> <p>Перевод лицензии для системы Moodle http://rusgpl.ru/rusgpl.pdf»</p>
	Аудитория № 425	Оборудование: учебная мебель, учебно-наглядные пособия, компьютер в составе Asus Intel Core i3, монитор, кондиционер (сплит-система)Haier, копировальный аппарат Canon FC-230, персональный компьютер в комплекте №1 KlamaS office, монитор DELL 21 - 8 шт., принтер HP Laser Jet 1220 лазерный, принтер Samsung ML-1750 лазерный, проектор BenQ Projector, системный блок компьютера Celeron, шкаф лабораторный	

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронно-образовательной среде Организации	Читальный зал № 2	Оборудование: научный и учебный фонд, научная периодика, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50, ПК (моноблок) – 8 шт., количество посадочных мест – 80.
	Аудитория № 406	Оборудование: учебная мебель, доступ в интернет, Компьютер в составе: SOC -1150 AsusIntelCore i3-4150.4096 mb.1024 mb.64bit DDR3.монитор 23, клавиатура,мышь – 4 шт.; Кондиционер(сплит-система) Haier HSU-24HEK203/R2- HSU-24HUN03/R2 210136000003093, МФУ Kyocera V2030 DN 210134000003069; Персональный компьютер в комплекте № 1 iRUCorp – 6 шт.

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины Современные методы моделирование многофазных на 7,8 семестр
сред
(наименование дисциплины)

очная
(форма обучения)

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	6/216
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	90,9
лекций	30
практических/ семинарских	–
лабораторных	60
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	0,9
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	125,1
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	-

Форма(ы) контроля: зачет 7, 8 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
МОДУЛЬ 1								
1	Дисперсные системы, их классификация.	2		2	4	[4]		
2	Течение вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса. Ламинарный режим течения. Уравнение Стокса.	2		2	4	[2], [4]		
3	Основы математического моделирования многофазных течений в стоксовом режиме.	2		2	4,8	[3]		
	Метод граничных элементов. Гранично-интегральная формулировка для вязкой жидкости. Принцип Лоренца.	4		4	12	[1],[3]		
	Программная реализация трехмерного метода граничных элементов для решения задачи динамики капли вязкой жидкости в неограниченном объеме другой вязкой жидкости.	4		10	30	[3]		Лабораторная работа №1, №2
	Алгоритм расчета поля скорости и динамики капли в объеме вязкой жидкости под действием внешнего потока.	2		8	20	[3]		Лабораторная работа №3
	Математическая модель задачи об обтекании капли вязкой жидкости с	2		8	15	[2]		Лабораторная работа №4

	фиксированным центром другой вязкой жидкости. Вывод аналитического решения							
МОДУЛЬ 2								
4	Алгоритм численного решения задач двухфазного течения в трехмерном случае методом граничных элементов	2		4	5,3	[3]		
5	Реализация численного решения различных типов задач о динамике дисперсных систем.	6		12	15	[3]		Лабораторная работа №5
6	Проведение параметрического исследования физической задачи. Методика анализа полученных научных результатов.	4		8	15	[2], [3], [4]		Лабораторная работа №6
	Всего часов:	30		60	125,1			

