

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Факультет математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе,
качеству образования и первым
проректор



_____ Загуров Т. А.

27 мая 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Б1.В.07
ПРЯМЫЕ И ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

Направление подготовки

02.04.01 Математика и компьютерные науки

Программа магистратуры

«Математическое и компьютерное моделирование»

Форма обучения

очная

Квалификация

магистр

Краснодар 2022

Рабочая программа дисциплины «Прямые и обратные задачи тепломассопереноса» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 02.04.01 Математика и компьютерные науки (уровень высшего образования: магистратура)

Программу составил:

Лежнев А. В., доцент, канд. физ.-мат. наук, доцент



Рабочая программа дисциплины
утверждена на заседании кафедры математических и компьютерных методов,
протокол № 9 от 04.05.2022.

Заведующий кафедрой
математических и компьютерных методов Лежнев А. В.



Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета
математики и компьютерных наук, протокол № 5 от 05.05.2022.

Председатель УМК факультета математики
и компьютерных наук Шмалько С. П.



Рецензенты:

Савенко И. В., коммерческий директор ООО «РосГлавВино»

Никитин Ю. Г., доцент кафедры теоретической физики и компьютерных технологий
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины:

«Прямые и обратные задачи тепломассопереноса» состоит в обучении применению современных математических методов для решения задач тепломассопереноса (теплопроводности, диффузии, фильтрации), их технических приложений, так как математические модели, в которых решение находится разложением по базисным потенциалам, являются широко распространенными. Получение высшего профессионального образования, позволяющего выпускнику успешно работать в избранной сфере деятельности с применением современных математических методов.

1.2 Задачи дисциплины:

Ознакомление студентов с методологическими подходами, позволяющими строить адекватные математические модели в задачах тепломассопереноса, использовать математическое описание подобных физических явлений; ознакомление с некоторыми широко распространенными моделями теплопроводности, диффузии, фильтрации и основными методами исследования этих моделей.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Прямые и обратные задачи тепломассопереноса» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1. Дисциплины (модули).

Дисциплина базируется на знаниях, полученных по стандарту высшего образования, и является основой для решения исследовательских задач. Для успешного освоения дисциплины студент должен владеть обязательным минимумом содержания основных образовательных программ по математике и информатике для бакалавров.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код и наименование индикатора* достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 – Способен демонстрировать фундаментальные знания математических и естественных наук, программирования и информационных технологий	
ПК-1.1 – Демонстрирует навыки решения задач классической математики, теоретической механики, математической физики	Знает основные методы математического и компьютерного моделирования для решения прикладных и фундаментальных задач
	Умеет реализовывать элементы алгоритмов или математических моделей для задач математической физики
	Владеет навыками построения математических моделей их программной реализации
ПК-1.2 – Реляционных баз данных, а также экспертных систем	Знает основные методы математического и компьютерного моделирования для решения прикладных и фундаментальных задач
	Умеет реализовывать элементы алгоритмов или математических моделей для задач математической физики
	Владеет навыками построения математических моделей их программной реализации
ПК-2 - Способность проводить научные исследования, на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	
ПК-2.1 – Демонстрирует практические навыки в проведении научно-исследовательской работы в профессиональной области	Знает основные методы математического и компьютерного моделирования для решения задач механики
	Умеет разрабатывать математические модели и реализующие их программные комплексы, проводить численный анализ на их основе
	Владеет навыками анализа математических подходов с точки зрения адекватности их применения к конкретной задаче
ПК-2.2 – Составляет план решения, ставит в ходе решения промежуточные цели для достижения основной, критикует предложенный путь решения задачи и прогнозирует возможный результат	Знать: принципы системного подхода при решении практических задач
	Уметь: осуществлять выбор инструментальных средств для обработки многомерных статистических данных в соответствии с поставленной задачей, анализировать результаты расчетов и обосновывать полученные выводы; предусматривать ход событий и последствия тех или иных этапов
	Владеть: навыками выявления проблем, возникающих при анализе конкретных ситуаций, предлагать способы их решения
ПК-2.3 – Анализирует поставленные задачи и выбирает эффективные математические методы при разработке	Знать: условия применимости конкретных математических методов
	Уметь: Анализировать поставленные задачи,

Код и наименование индикатора* достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
алгоритмов и вычислительных программ для решения современных задач естествознания	формализовать современные задачи естествознания Владеть: навыками сравнения и анализа эффективности рассматриваемых для использования математических методов

2. Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зач. ед. ($2 \cdot 36 = 72$ часов),

их распределение по видам работ представлено в таблице (для магистрантов ОФО).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры (часы)				
		В	—			
Контактная работа, в том числе:	16,2	16,2				
Аудиторные занятия (всего):	16	16				
Занятия лекционного типа	6	6	-	-	-	
Лабораторные занятия	10	10	-	-	-	
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	
Иная контактная работа:						
Контроль самостоятельной работы (КСР)	-	-				
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,2	0,2				
Самостоятельная работа, в том числе:	55,8	55,8				
Проработка учебного (теоретического) материала	20	20	-	-	-	
Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)	10	10	-	-	-	
Реферат	10	10	-	-	-	
Подготовка к текущему контролю	15,8	15,8	-	-	-	
Контроль:						
Подготовка к зачету						
Общая трудоемкость	час.	72	72	-	-	-
	в том числе контактная работа	16,2	16,2			
	зач. ед	2	2			

2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

№ раз-дела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			СР
			Л	ЛР	ПЗ	
1	Численное моделирование. Моделирование физических процессов. Параболические задачи математической физики (задача распространения тепла, задача диффузии, задача фильтрации)	17	1	1		15
2	Элементы теории потенциала. Полные системы потенциалов. Постановка краевых задач. Алгоритмы решения задач математической физики	21	3	3		15
3	Численное моделирование нестационарных физических процессов. Эволюционные уравнения в частных производных со старшим оператором Лапласа (принцип максимума для них)	14	1	3		10
4	Дифференциальные уравнения в частных производных второго порядка параболического типа и специфика численных методов, применяемых для нахождения их решений	19,8	1	3		15,8
<i>Итого по дисциплине:</i>			6	10		55,8

2.3 Содержание разделов дисциплины:

2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1	Численное моделирование. Моделирование физических процессов. Параболические задачи математической физики (задача распространения тепла, задача диффузии, задача фильтрации).	1.1 Математическая физика. Постановка краевых задач. Существование и единственность решения. 1.2 Корректность и некорректность. Обратные задачи. 1.3 Классификация дифференциальных уравнений в частных производных. Уравнение теплопроводности и диффузии. Нестационарные процессы и параболические уравнения.	Опрос
2	Элементы теории потенциала. Полные системы потенциалов. Постановка краевых	1.1 Интегральные операторы теории потенциала. Фундаментальное решение уравнения Лапласа. 1.2 Потенциалы простого и двойного слоя, объемный потенциал.	Опрос

	задач. Алгоритмы решения задач математической физики.	1.3 Потенциал Робена. Интегральные операторы. 1.4 Представление функций потенциалами. Лемма Новикова.	
3	Численное моделирование нестационарных физических процессов. Эволюционные уравнения в частных производных со старшим оператором Лапласа (принцип максимума для них).	3.1 Полнота сдвигов фундаментального решения уравнения Лапласа в подпространстве гармонических функций. 3.2 Системы потенциалов полные на границе области. Полнота модифицированных систем, полученных из фундаментального решения. 3.3 Граничное управление температурой.	Опрос
4	Дифференциальные уравнения в частных производных второго порядка параболического типа и специфика численных методов, применяемых для нахождения их решений.	4.1 Алгоритм задачи Робена. Внутренняя и внешняя задача Дирихле для уравнения Лапласа и Пуассона. 4.2 Внутренняя задача и внешняя задача Неймана для уравнения Лапласа, Пуассона и уравнения теплопроводности.	Зачет

2.3.2 Занятия семинарского типа УП не предусмотрены.

№	Наименование раздела	Тематика практических занятий (семинаров)	Форма текущего контроля
1	2	3	4

2.3.3 Лабораторные занятия

№ раздела	Наименование раздела	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1	См. таблицу 2.3.1	Задачи математической физики (задача распространения тепла, задачи диффузии, задачи фильтрации).	Опрос
2 – 3	См. таблицу 2.3.1	Фундаментальное решение уравнения Лапласа. Потенциалы простого и двойного слоя, объемный потенциал. Фундаментальное решение уравнения теплопроводности.	Опрос
4	См. таблицу	Численные методы решения задач	Опрос

	2.3.1	со старшим оператором Лапласа, параболические эволюционные уравнения и использование принципа максимума для них. Обратная задача для уравнения теплопроводности.	
--	-------	--	--

2.3.4 Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Курсовые работы УП не предусмотрены.

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа студентов по дисциплине включает следующие виды деятельности:

- проработку и анализ лекционного материала;
- изучение учебной литературы;
- поиск информации в сети Интернет по различным вопросам;
- решение задач по темам курса;
- работу с вопросами для самопроверки;
- подготовку к контрольной работе;
- подготовку к зачёту.

Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины представлен в таблице.

№	Вид самостоятельной работы	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1.	Подготовка к текущему контролю	<p>Методические указания для подготовки к занятиям лекционного и семинарского типа. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.</p> <p>Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.</p> <p>Методические указания по использованию интерактивных методов обучения. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5т от 05 мая 2022 г.</p> <p>Методические указания по подготовке эссе, рефератов, курсовых работ. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5т от 05 мая 2022 г.</p>
2.	Выполнение лабораторных работ и расчетно-графических заданий	<p>Методические указания по выполнению лабораторных работ. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.</p> <p>Методические указания по выполнению расчетно-графических заданий. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.</p>
3.	Подготовка и	1. Методические указания по подготовке и оформлению

	оформление отчетов по практике	отчета по практике. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.
4.	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы	1. Методические указания по выполнению и защите выпускной квалификационной работы (бакалавриат, магистратура, специалитет). Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла;
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

3. Образовательные технологии:

Разбор практических задач и примеров, моделирование ситуаций, приводящих к тем или иным ошибкам в программе, выработка навыков выявления и исправления ошибок в процессе написания программы. Построение тестовых примеров для выявления ошибок в программе и сравнения эффективности различных алгоритмов.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

Используемые интерактивные образовательные технологии:

Сем естр	Вид занятия	Используемые интерактивные образовательные технологии	Кол-во часов
В	Лабораторные занятия	Дискуссия на тему: «Фундаментальное решение уравнения Лапласа. Потенциалы простого и двойного слоя, объемный потенциал. Фундаментальное решение уравнения теплопроводности»	4
		Дискуссия на тему: «Численные методы решения задач со старшим оператором Лапласа, параболические эволюционные уравнения и использование принципа максимума для них. Обратная задача для уравнения теплопроводности»	4
<i>Итого:</i>			8

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации *Текущие аттестации не предусматриваются.*

4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Контрольные вопросы (к зачету):

1. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса.
2. Математическая физика. Постановка краевых задач. Существование и единственность решения. Корректность и некорректность.
3. Обратные задачи. Классификация дифференциальных уравнений в частных производных.
4. Уравнение теплопроводности, диффузии и фильтрации. 5. Нестационарные процессы и параболические уравнения.
6. Элементы теории потенциала. Интегральные операторы теории потенциала
7. Фундаментальное решение уравнения Лапласа. Потенциалы простого и двойного слоя, объемный потенциал.
8. Потенциал Робена. Интегральные операторы.
- Представление функций потенциалами. Лемма Новикова. Полные системы потенциалов
9. Полнота сдвигов фундаментального решения уравнения Лапласа в подпространстве гармонических функций.
10. Системы потенциалов полные на границе области. Полнота модифицированных систем, полученных из фундаментального решения.
11. Алгоритмы задач математической физики. Алгоритм задачи Робена.
12. Внутренняя и внешняя задача Дирихле для уравнения Лапласа и Пуассона.
13. Внутренняя задача и внешняя задача Неймана для уравнения Лапласа и уравнения Пуассона.
14. Граничное управление температурой. Бигармоническое уравнение.
15. Моделирование физических процессов. Задачи математической физики.
16. Примеры задач математической физики. Задача распространения тепла.
17. Обратная задача для уравнения теплопроводности.
18. Основные типы дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Постановка краевых задач.

19. Алгоритмы расчета по явным и неявным численным схемам для уравнения теплопроводности.
20. Алгоритмы решения задач об управлении температурой.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

5.1 Основная литература:

1. Сабитов, К.Б. Уравнения математической физики [Электронный ресурс]: учеб. – Электрон. дан. – Москва: Физматлит, 2013. – 352 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59660>
2. Темам Р. Математическое моделирование в механике сплошных сред: учебное пособие / Темам Р., Миранвиль А. — Электрон. дан. — М.: "Лаборатория знаний" (ранее "БИНОМ. Лаборатория знаний"), 2017. — 323 с. – ISBN 978-5-00101-494-2- [Электронный ресурс] – URL: <https://e.lanbook.com/book/94110> (06.04.2018).
3. Рябенский, В. С. Введение в вычислительную математику [Электронный ресурс] / В. С. Рябенский. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 288 с. - (Физтехковский учебник). - ISBN 978-5-9221-0926-0. - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/544692>

5.2 Дополнительная литература:

1. Присекин, В.Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел: учебник / В.Л. Присекин, Г.И. Расторгуев. – НГТУ, 2009. - 240 с. ISBN 978-5-7782-1287-9. — [Электронный ресурс]. — URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=436040
2. Александров, Д.В. Введение в гидродинамику : учебное пособие / Д.В. Александров, А.Ю. Зубарев, Л.Ю. Искакова. - Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2012. - 112 с. - ISBN 978-5-7996-0785-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=239521>
3. Митрофанова, О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-электрических установок / О.В. Митрофанова. - Москва : Физматлит, 2010. - 286 с. - ISBN 978-5-9221-1223-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68969>

5.3 Периодические издания:

1. Bunyakin A.V., Chernyshenko S.I., Stepanov G.Yu. Inviscid Batchelor – model flow past an airfoil with a vortex trapped in a cavity // J.Fluid Mech. – 1996. – Vol. 323. – P. 367 – 376. <http://dx.doi.org/10.1017/S002211209600095X>

2. Bunyakin A.V., Chernyshenko S.I., Stepanov G.Yu. High – Reynolds – number Prandtl – Batchelor – model flow past an aerofoil with a vortex trapped in a cavity // J.Fluid Mech. – 1998. – Vol. 358. – P. 283 – 297. <http://dx.doi.org/10.1017/S0022112097008203>
3. Бунякин А.В. Ламинарный пограничный слой при обтекании крылового профиля с круговой выемкой // Изв. РАН Мех. жидк. и газа – 1998. – №2. – С. 52 – 57.
4. Бунякин А.В. Вихревая ячейка с вращающимся внутри цилиндром на поверхности крылового профиля при больших числах Рейнольдса // Изв. РАН Мех. жидк. и газа. – 2001. – № 4. – С. 87 – 92.
5. Sandoval M., Chernyshenko S. Extension of the Prandtl – Batchelor theorem to three-dimensional flows slowly varying in one direction // Journal of Fluid Mechanics 2010. V. 654. P. 351 – 361

6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля): *Wikipedia*

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

В процессе самостоятельной работы каждый обучающийся получает задания по каждому из трех разделов дисциплины (см. табл. 2.2), которые принимаются по согласованию с преподавателем (в специально назначаемое время).

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)

8.1 Перечень необходимого программного обеспечения:

Лицензированные программы не используются, а только авторские.

8.2 Перечень необходимых информационных справочных систем:
Wikipedia

8.3 Перечень информационных справочных систем:

1. Справочно-правовая система «Консультант Плюс»
(<http://www.consultant.ru>)

2. Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.**

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность
	Лекционные занятия	Лекционная аудитория, специально оборудованная мультимедийными демонстрационными комплексами, учебной мебелью
	Лабораторные занятия	Помещение для проведения лабораторных занятий оснащенное учебной мебелью, доской маркером или мелом
	Групповые (индивидуальные) консультации	Помещение для проведения групповых (индивидуальных) консультаций, учебной мебелью, доской маркером или мелом
	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Помещение для проведения текущей и промежуточной аттестации, оснащенное учебной мебелью.
	Самостоятельная работа	Кабинет для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета