

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет математики и компьютерных наук

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Методы решения больших систем линейных алгебраических уравнений

Кафедра прикладной математики факультета математики и компьютерных наук

Образовательная программа магистратуры **01.04.02 - Прикладная математика и информатика**

Направленность (профиль) программы Математическое моделирование и вычислительная математика

Форма обучения Очная

Статус дисциплины: входит в часть ОПОП, формируемую участниками образовательных отношений

Рабочая программа дисциплины «Методы решения больших систем линейных алгебраических уравнений» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 01.04.02 - Прикладная математика и информатика от «10»_01_2018 г. № 13.

ной математ	ики Абдурагимс	ов Г.Э., к.фм. н., доцент
дисциплины с зы прикладно	одобрена: й математики от	«25»_ 02_ 2022 г., протокол
2	re p. (4	
01	Кадиев Р.И.	
3 2022/r., npc	токол №4.	а математики и компьютер-
лисшиплины	согласована с у	чебно-методическим управ-
02 20	22 г.	
05		(подпись)
	A CONTRACTOR OF THE PARTY OF TH	Гасангаджиева А.Г.
	дисциплины сом прикладно досциплины досциплины дос	дисциплины одобрена: оы прикладной математики от Кадиев Р.И. цической комиссии факультет З 2022 г., протокол №4. Ризаев М.К. дисциплины согласована с у 2022 г.

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Методы решения больших систем линейных алгебраических уравнений» входит в часть ОПОП, формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы *магистратуры* по направлению подготовки 01.04.02 - Прикладная математика и информатика и является дисциплиной по выбору.

Дисциплина реализуется на факультете математики и компьютерных наук кафедрой прикладной математики.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с различными методами решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с разреженными матрицами, усвоением наиболее распространенных из них численных методов решения СЛАУ, а также знакомством с современными направлениями развития эффективных методов решения СЛАУ.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: общепрофессиональных - ОПК-3, профессиональных – ПК-1 и ПК-4.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: *лекции*, *лабораторные занятия*, *самостоятельная работа*.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме устного опроса, зачета по лабораторным работам и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины 3 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Ce-	Учебные занятия						Форма промежу-	
местр	Всего	в том числе						точной аттеста-
		Контактная работа обучающихся с преподавателем СРС,						ции (зачет по лаб.
		из них в том				в том	работам, кон-	
		Лек	Лаборатор-	Практи-	КСР	консуль-	числе	трольная работа,
		ции	ные заня-	ческие		тации	экза-	экзамен)
			кит	занятия			мен	
1	108	14	16				78	зачет

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Методы решения больших СЛАУ» являются: усвоение различных методов решения СЛАУ большой размерности, научить самостоятельно решать СЛАУ большой размерности, пользуясь ЭВМ; привить обучающимся умение самостоятельно изучать учебную и научную литературу по математике, развить у них математический стиль мышления. Конечная цель изучения этой дисциплины — стать специалистом по решению СЛАУ большой размерности.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина «Методы решения больших систем линейных алгебраических уравнений» входит часть ОПОП, формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 01.04.02 - Прикладная математика и информатика и относится в соответствии с графиком учебного процесса к 1 семестру. Предполагает знание основ теории линейной алгебры, знание численных методов решения СЛАУ и умение применять их для нахождения решений задач линейной алгебры, умение пользоваться различными пакетами прикладных программ для этой цели. Магистрант, изучив эту дисциплину, должен научиться составлять алгоритмы решения СЛАУ большой размерности, пользуясь изученными методами, и реализовать их на ЭВМ. При составлении математических моделей различных экономических и физических задач могут возникать СЛАУ большой размерности. Поэтому умение решать СЛАУ большой размерности полезно магистранту как специалисту по направлению математическое моделирование вычислительная математика.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения)

ения ние и онно- прос, бора- амо-
онно- прос, бора-
прос,
iopa-
-
2340
amo-
іго-

	ОПК-3.2 Умеет применять и модифицировать математические модели для решения задач в области профессиональной деятельности	Знает: основные методы решения СЛАУ с разреженными матрицами Умеет: применять численные методы решения СЛАУ с разреженными матрицами Владеет: соответствующими методами решения СЛАУ с разреженными матрицами	
	ОПК-3.3 Имеет практический опыт составления математических моделей для решения задач в области профессиональной деятельности	Знает: основные методы решения СЛАУ с разреженными матрицами Умеет: применять численные методы решения СЛАУ с разреженными матрицами Владеет: необходимым математическим аппаратом решения СЛАУ с разреженными матрицами	
ПК-1 Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	ПК-1.1 Обладает умением сбора и обработки данных, полученными в области математических и (или) естественных наук, программирования и информационных технологий для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	Знает: основные способы сбора и обработки матричных данных Умеет: формулировать выводы относительно результатов решения СЛАУ с разреженными матрицами Владеет: необходимым математическим аппаратом и информационными технологиями решения СЛАУ с разреженными матрицами	
	ПК-1.2 Умеет находить, формулировать и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности в математике и информатике	Знает: постановку задачи и методы решения СЛАУ с разреженными матрицами Умеет: формулировать и решать СЛАУ с разреженным матрицам Владеет: необходимым практическим опытом решения СЛАУ с разреженными матрицами	

	ПК-1.3 Имеет практический опыт использования методов современных научных исследований	Знает: постановку задачи и методы решения СЛАУ с разреженными матрицами Умеет: применять в прикладных исследованиях методы решения СЛАУ с разреженным матрицам Владеет: практическими навыками и приемами решении я СЛАУ с разреженным матрицам	
ПК-4 Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач проектной и производственно - технологической деятельности	ПК-4.1 Знает основные метода проектирования и производства программного продукта, принципы построения, структуры и приемы работы с инструментальными средствами, поддерживающими создание программных продуктов и программных комплексов, их сопровождения, администрирования и развития (эволюции)	Знает: языки программирования и пакеты прикладных программ Умеет: применять прирешении СЛАУ с разреженными матрицами программные инструменты Владеет: практическими навыками и приемами программирования и информационных технологий	Конспектирование и изучение лекционного материала, опрос, выполнение лабораторных работ, самостоятельная подготовка.
	ПК-4.2 Умеет использовать методы проектирования и производства программного продукта, структуры и приемы работы с инструментальными средствами, поддерживающими создание программного продукта	Знает: языки программирования и пакеты прикладных программ Умеет: применять языки программирования и пакеты прикладных программ к решению СЛАУ с разреженными матрицами Владеет: практическими навыками и приемами программирования и информационных технологий	
	ПК-4.3 Имеет практический опыт применения указанных выше методов и технологий	Знает: языки программирования и пакеты прикладных программ Умеет: применять программные инструменты и пакеты прикладных программ к решению СЛАУ с разреженными матрицами Владеет: практическим опытом программирования и информационных технологий	

4. Объем, структура и содержание дисциплины

- 4.1. Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 академических часов.
- 4.2. Структура и содержание дисциплины (модули)

Раздел и темы № дисциплины п/п по модулям			чая сам	ы учебной работы, вклю- самостоятельную работу студентов (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Семестр	Лекции	Практика	Лабор.	Самостоя- тельная ра- бота в т.ч. эк- замен	
	Модуль 1. Неитераци	ЮННЬ	іе методы	реш	ения (больших разре	женных СЛАУ
1	Хранение и обработка разреженных матриц	1	4			10	Опрос, лабораторная работа
2	Решение больших разреженных СЛАУ методами LU-факторизации		2		4	16	
]	Всего по модулю 1		6		4	26	Защита лабораторных заданий
	Модуль 2. Решение бол	ьших	к разреже	нных	СЛА	У методом IL	U- факторизации
1	Решение больших разреженных СЛАУ методом ILU- факторизации	1	4		4	28	Опрос, лабораторная работа
]	Всего по модулю 2		4		4	28	Защита лабораторных заданий
Модуль 3. Итерационные методы решения больших разреженных СЛАУ							
1	Классические итерацион-	1				• •	Опрос,
	ные методы и релаксация		4		8	8	лабораторная работа
]	Всего по модулю 3		4		8	24	Защита лабораторных заданий
ИТС	ОГО ЗА 1 СЕМЕСТР		14		16	78	Зачет
	ИТОГО:		14		16	78	108

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине

Модуль 1. Неитерационные методы решения больших разреженных СЛАУ

Тема 1. Хранение и обработка разреженных матриц.

Портрет разреженной матрицы, виды портретов. Способы хранения разреженных матриц. Умножение разреженной матрицы на вектор.

Тема 2. Решение больших разреженных СЛАУ методом LU-факторизации.

Разложение матрицы с помощью LU-факторизации. Решение большой системы линейных алгебраических уравнений с разреженной нижней треугольной матрицей. Решение большой системы линейных алгебраических уравнений с разреженной верхней треугольной матрицей. Недостатки метода LU-факторизации. Решение СЛАУ с разреженной матрицей с помощью метода LU факторизации.

Модуль 2. Решение больших разреженных СЛАУ методом ILU- факторизации

Тема 1. Решение больших разреженных СЛАУ методом I LU-факторизации.

Разложение матрицы с помощью ILU-факторизации. Свойства ILU-факторизации. Решение СЛАУ с разреженной матрицей с помощью метода ILU-факторизации. Преимущество метода ILU-факторизации перед методом LU-факторизации.

Модуль 3. Итерационные методы решения больших разреженных СЛАУ

Тема 1. Классические итерационные методы и релаксация.

Классические итерационные методы и релаксация. Методы Якоби и Гаусса-Зейделя, их сходимость. Релаксационные методы, ускорение их сходимости.

4.3.2. Содержание лабораторных занятий по дисциплине

№ п/п	Тема			
		торные		
		часы		
	Модуль 1. Лабораторные занятия по теме: Решение больших	4		
	СЛАУ с разреженными матрицами			
	методом LU-факторизации			
1.1 лб	LU-факторизация, формулы, алгоритм.	2		
1.2 лб	Решение больших СЛАУ с разреженными матрицами мето-	2		
	дом LU-факторизации.			
	Модуль 1. Лабораторные занятия по теме: Решение больших	4		
	СЛАУ с разреженными матрицами методом ILU-			
	факторизации			
2.1 лб	ILU-факторизация, формулы, алгоритм.	2		
2.2 лб	Решение больших СЛАУ с разреженными матрицами на	2		
	компьютере методом ILU -факторизации.			
	Модуль 3. Лабораторные занятия по теме: Итерационные ме-	8		
	тоды и метод релаксации			
	решения больших СЛАУ.			
3.1 лб	Метод простой итерации решения разреженных СЛАУ	2		
3.2 лб	Метод Гаусса-Зейделя, формулы, алгоритм.	2		
3.3 лб	Решение больших СЛАУ с разреженными матрицами на компьюте-	4		
	ре итерационными методами.			

5. Образовательные технологии

Для проведения лабораторных занятий на факультете имеются 4 компьютерных класса, оснащенные современными компьютерами с необходимым программным обеспечением. Магистранты имеют свободный доступ к интернет-ресурсам. Университет обеспечен необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

6.1. Виды и порядок выполнения самостоятельной работы

- 1. Изучение рекомендованной литературы.
- 2. Решение задач домашней самостоятельной работы.
- 3. Выполнение лабораторных работ.

No	Виды самостоятельной	Вид контроля	Учебно-методич.	
	работы		обеспечения	
1	Изучение рекомендован-	Устный опрос по разде-	См. разделы 8, 9	
	ной литературы	лам дисциплины	данного документа	
2	Решение задач домашней	Оценка выполненной ра-	См. разделы 8, 9	
	самостоятельной работы	боты	данного документа	
3	Выполнение лаборатор-	Зачет по лабораторной	См. разделы, 8, 9	
	ных работ	работе	данного документа	

6.2 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

обучающихся по дисциплине

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИМЕРНЫХ ВОПРОСОВ И ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

I. Даны разреженные матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 7 & 6 & 2 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 2 & 9 & 0 & 0 & 0 & 11 & 4 \\ -1 & 0 & 9 & 6 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 8 & 0 & 0 & 12 \\ 0 & 0 & 7 & 0 & 3 & 5 & 0 \\ 0 & 7 & 0 & 0 & 2 & 4 & 0 \\ 10 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 7 \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} 12 & 8 & 0 & 0 & 9 & 3 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 2 & 2 & 5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 \end{pmatrix}.$$

$$A = \begin{pmatrix} 8 & 7 & 3 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 3 & 10 & 0 & 0 & 0 & 12 & 5 \\ 1 & 0 & 10 & 7 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 9 & 0 & 0 & 13 \\ 0 & 0 & 8 & 0 & 4 & 6 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 3 & 5 & 0 \\ 11 & 2 & 0 & 3 & 0 & 0 & 8 \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} 11 & 7 & 0 & 0 & 8 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 1 & 1 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 \end{pmatrix}.$$

$$A = \begin{pmatrix} 10 & 9 & 5 & 0 & 0 & 0 & 8 \\ 5 & 12 & 0 & 0 & 0 & 14 & 7 \\ 3 & 0 & 12 & 8 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & 10 & 0 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 10 & 0 & 6 & 8 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 & 5 & 7 & 0 \\ 13 & 4 & 0 & 6 & 0 & 0 & 10 \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} 6 & 6 & 0 & 0 & 6 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 3 & 3 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 \end{pmatrix}.$$

- 1) Выписать портреты этих матриц
- 2) Симметричны ли их портреты?
- 3) Выписать для хранения этих матриц способом CSR массивы aelem, jptr, iptr.
- 4) Выписать для хранения этих матриц способом CSR с изменениями массивы *adiag, altr, autr, iptr, iptr.*
- **II**. Написать алгоритм и соответствующую программу умножения матриц A и B на векторы x и y соответственно. Результаты проверить на векторах

$$x = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, y = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

- **III.** 1) Найти разложение матрицы A методом LU —факторизации.
 - 2) Найти разложение матрицы A методом ILU —факторизации.
 - 3) Описать недостатки и достоинства методов LU и ILU факторизаций.
 - 4) Решить методом ILU —факторизации систему $Ax = b^T$, где

Вариант 1: b = (6, -3, -5, 28, -6, -11, 20).

Вариант 2: b = (7, -2, -3, 31, -8, -14, 23).

Вариант 3: b = (9, 0, -1, 25, -12, -20, 31).

Литература для выполнения самостоятельной работы: рекомендованная к данному курсу основная [2] и дополнительная литература [6], конспекты лекций.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.1. Типовые контрольные задания и контрольные вопросы

Типовая контрольная работа

Дана матрица

$$A = \begin{pmatrix} 7 & 6 & 2 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 2 & 9 & 0 & 0 & 0 & 11 & 4 \\ -1 & 0 & 9 & 6 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 8 & 0 & 0 & 12 \\ 0 & 0 & 7 & 0 & 3 & 5 & 0 \\ 0 & 7 & 0 & 0 & 2 & 4 & 0 \\ 10 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 7 \end{pmatrix}.$$

- 1) Найти разложение матрицы A методом LU —факторизации.
- 2) Найти разложение матрицы A методом ILU —факторизации.
- 3) Решить методом ILU —факторизации систему $Ax = b^T$, где b = (6, -3, -5, 28, -6, -11, 20).

Примерные вопросы к зачету

Примерные вопросы по модулю 1

- 1. Что называется портретом разреженной матрицы?
- 2. Деление матриц по соответствующим портретам.
- Распространенный способ хранения несимметричных матриц, демонстрировать на примере.
- 4. Хранение матрицы с симметричным портретом и ненулевой главной диагональю, демонстрировать на примере.
- 5. Алгоритм матрично-векторного умножения.
- 6. Симметричность портрета при учете краевых условий.
- 7. Прямой и обратный ход по разреженным треугольным матрицам.

Примерные вопросы по модулю 2

- 1. Что такое LU-факторизация? Объяснить почему невыгодно применять LU-факторизацию к большим разреженным матрицам.
- 2. Что такое ILU-факторизация? Алгоритм ILU-факторизации.
- 3. Продемонстрировать на примере реализацию алгоритма ILU-факторизации.
- 4. ILU-факторизация в случае симметричной матрицы, алгоритм, демонстрация на примере.
- 5. Программа реализации на ЭВМ ILU-факторизации.

Примерные вопросы по модулю 3

- 1. Итерационный метод Якоби решения СЛАУ, алгоритм метода.
- 2. Метод, основанный на расщеплении матрицы, алгоритм метода.
- 3. Теорема о сходимости метода, основанного на расщеплении матрицы.
- 4. Метод последовательной верхней релаксации, алгоритм метода.
- 5. Сравнение методов Якоби и Гаусса-Зейделя с методом последовательной верхней релаксации
- 7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.
- **оценка** «зачтено» выставляется магистранту, который успешно защитил не менее 2/3 отчетов по лабораторным работам, прочно усвоил предусмотренный программный материал; правильно, аргументировано ответил на все вопросы, с приведением примеров;
- **оценка «не зачтено»** выставляется магистранту, который не представил к защите 2/3 и более отчетов по лабораторным работам и не справляется с 50% вопросов и в ответах на другие вопросы допустил существенные ошибки. Не может ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем.

Конечный результат складывается как средневзвешенная оценка текущего и промежуточного контролей соответственно с весами 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий 40 баллов;
- -самостоятельная работа 60 баллов;

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

-защита лабораторных работ –100 баллов;

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освения дисциплины

а) основная литература:

- [1]. Веретенников В.Н. Методические указания. Определители. Матрицы. Системы линейных алгебраических уравнений. Индивидуальное домашнее задание [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Н. Веретенников. Электрон. текстовые данные. СПб.: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2004. 25 с. 2227-8397. Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/12499.html
- [2]. Баландин М.Ю., Шурина Э.П. Методы решения СЛАУ большой размерности. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000, 70 с.
- [3]. Фаддеев Д.К., Фаддеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры. М: Физматгиз, 1975, 228 с.

б) дополнительная литература

- [1]. *Аббафи Й., Спедикато Э.* Математические методы для линейных и нелинейных уравнений: проекционные ABS алгоритмы. М.: Мир, 1996, 268 с.
- [2]. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления. М.: Мир, 1999, 548 с.
- [3]. Писсанецки С. Технология разреженных матриц. М.: Мир, 1988, 410 с.
- [4]. Caad Y. Iterative Methods for Sparse Linear Systems. PWS Publishing Company, 2003, 528 c.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- 1. Федеральный портал российское образование http://edu.ru;
- 2. Электронные каталоги Научной библиотеки Даггосуниверситета http://elib.dgu.ru/?q=node/256;
- 3. Образовательные ресурсы сети Интернет http://catalog.iot.ru/index.php;
- 4. Электронная библиотека http://elib.kuzstu.ru.

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения курса магистрантам рекомендуется самостоятельно повторять материал, пройденный во время лекций с подробным разбором доказательств теорем. Рекомендуется самостоятельно изучать по рекомендованной литературе программный материал и научиться применять на практике изученный материал, составлять алгоритмы решения задач и по ним составлять программы для решения этих задач на компьютере, изучать кроме рекомендованной и научную литературу, также пользоваться интернет - ресурсами. Рекомендуется научиться работать с прикладными программами.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Для успешного освоения дисциплины, обучающийся использует следующие программные средства: различные пакеты прикладных программ (Mathcad, Matlab и др.), а также интернет-ресурсы.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Все лекционные аудитории укомплектованы мультимедийными и техническими средствами обучения. В каждой аудитории 35 рабочих мест. Аудитории, в которых проводятся семинарские занятия, оснащены доской, укомплектованы рабочими местами в расчете на 25-30 студентов. На факультете имеются 4 компьютерных класса с современными персональными компьютерами и лицензионным программным обеспечением, на базе кафедры прикладной математики создана студенческая научно — исследовательская лаборатория «Математическое моделирование». На кафедре прикладной математики и в библиотеке ДГУ имеются методические указания к выполнению лабораторных работ, также в библиотеке ДГУ имеется соответствующая литература, кроме того методические разработки, размещены на сайте ДГУ.