

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Методы решения сеточных уравнений

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2020

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
 - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
 - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Мазо А.Б. (Кафедра аэрогидромеханики, отделение механики), Alexander.Mazo@kpfu.ru

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-5	Способен к творческому применению, развитию и реализации математически сложных алгоритмов в современных программных комплексах

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

основные прямые и итерационные методы решения больших разреженных систем алгебраических уравнений

Должен уметь:

применять основные прямые и итерационные методы для решения больших разреженных систем алгебраических уравнений

Должен владеть:

прямыми и итерационными методами решения сеточных уравнений

Должен демонстрировать способность и готовность:

методы получения, хранения и обработки больших разреженных систем уравнений. Приемы конструирования предобуславливающих матриц.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.03 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.04.03 "Механика и математическое моделирование (Механика жидкости, газа и плазмы)" и относится к вариативной части.

Осваивается на 1 курсе в 1 семестре.

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 37 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 18 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 35 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 1 семестре.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Сеточные схемы МКР, МКО и МКЭ для задач термогидродинамики как большие разреженные системы линейных					

алгебраических уравнений (СЛАУ).

1

2

2

0

4

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Схемы хранения разреженных матриц и элементы алгебры разреженных матриц. Связь топологии сеток и портретов матриц. Алгоритм перенумерации узлов Катхилла-Макки и минимальной степени. Ленточные матрицы. Разреженный строчный формат хранения.	1	2	2	0	5
3.	Тема 3. Прямые методы решения СЛАУ. Метод прогонки для ленточных матриц. Метод факторизации Холецкого и LDU-разложение.	1	2	2	0	6
4.	Тема 4. Итерационные методы решения СЛАУ. Общая теория итерационных методов. Сведения из алгебры и функционального анализа. Сеточные уравнения как матричные и операторные уравнения. Условия сходимости итерационных методов. Базовые стационарные итерационные методы: Рундсона, Якоби, Зейделя, простой итерации, наискорейшего спуска. Выбор оптимальных параметров. Методы релаксации SOR, SSOR.	1	4	2	0	4
5.	Тема 5. Быстрые нестационарные итерационные процессы. Метод сопряженных направлений, чебышевский метод	1	2	2	0	6
6.	Тема 6. Предобуславливающие операторы (preconditioners). Предобуславливатель Якоби. Неполное разложение Холецкого, модифицированное неполное разложение. Предобуславливание и масштабирование	1	2	2	0	6
7.	Тема 7. Многосеточный метод. Операторы сглаживания, ограничения и продолжения. V и W циклы	1	4	6	0	4
	Итого		18	18	0	35

4.2 Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Сеточные схемы МКР, МКО и МКЭ для задач термогидродинамики как большие разреженные системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Построение сеточных схем методами конечных разностей (МКР), конечных объемов (МКО) и конечных элементов (МКЭ). Сеточные схемы как разреженные системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) большой размерности. Свойства матриц СЛАУ: симметричность, положительная определенность, невырожденность. Учет граничных условий

Дирихле и симметризация матриц. Собственные числа и собственные векторы матриц.

Спектр, нормы и число обусловленности матриц.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение линейризованных сеточных схем методами конечных разностей (МКР), конечных объемов (МКО) и конечных элементов (МКЭ) для типичных уравнений термогидродинамики.

Тема 2. Схемы хранения разреженных матриц и элементы алгебры разреженных матриц. Связь топологии сеток и портретов матриц. Алгоритм перенумерации узлов Катхилла-Макки и минимальной степени. Ленточные матрицы. Разреженный строчный формат хранения.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Различные схемы хранения разреженных матриц большой размерности. Портрет матрицы. Ширина ленты и профиль. Связь топологии сеток и портретов матриц для МКР, МКЭ и МКО.

Разреженный строчный формат хранения с упорядочением и без. Элементы алгебры разреженных матриц. Экономичные алгоритмы умножения матрицы на вектор, умножения матриц, скалярного произведения векторов. Эффект заполнения при треугольной факторизации матрицы. Ленточная схема хранения матрицы. Алгоритм перенумерации узлов Катхилла-Макки для минимизации ширины ленты. Алгоритм минимальной степени для минимизации заполнения.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Представление матрицы сеточной схемы для двумерного уравнения теплопроводности в обычном, разреженном строчном и ленточном формате хранения. Реализация экономичных алгоритмов алгебры разреженных матриц. Применение алгоритмов перенумерации узлов Катхилла-Макки и минимальной степени.

Тема 3. Прямые методы решения СЛАУ. Метод прогонки для ленточных матриц. Метод факторизации Холецкого и LDU-разложение.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Трехточечные схемы МКР и МКЭ для одномерных уравнений конвекции-диффузии. Ленточная схема хранения трехдиагональной матрицы. Метод прогонки (алгоритм Томаса). Метод факторизации Холецкого (метод квадратного корня) и тройной факторизации (LDU-разложение) для положительно определенных матриц. Методы прямого решения СЛАУ с факторизованной матрицей.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Численное решение одномерного уравнения конвекции-диффузии для с применением метода прогонки. Численное решение двумерного уравнения теплопроводности с применением метода тройной факторизации.

Тема 4. Итерационные методы решения СЛАУ. Общая теория итерационных методов. Сведения из алгебры и функционального анализа. Сеточные уравнения как матричные и операторные уравнения. Условия сходимости итерационных методов. Базовые стационарные итерационные методы: Ричардсона, Якоби, Зейделя, простой итерации, наискорейшего спуска. Выбор оптимальных параметров. Методы релаксации SOR, SSOR.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Итерационные методы решения СЛАУ. Общая теория итерационных методов. Сведения из алгебры и функционального анализа: свойства операторов и матриц, некоторые нормы векторов и матриц, сходимость по норме. Сеточные уравнения как матричные и операторные уравнения. Каноническая форма 1 двухслойного итерационного процесса. Оператор перехода и матрица расщепления. Условия сходимости итерационных методов. Скорость сходимости. Базовые стационарные итерационные методы: Ричардсона, Якоби, Зейделя, простой итерации, наискорейшего спуска, минимальных невязок. Выбор оптимальных параметров. Каноническая форма 2 двухслойного итерационного процесса. Условие сходимости. Методы релаксации SOR, SSOR. Условия сходимости.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Численное решение модельной эллиптической задачи с применением базовых стационарных и вариационных методов. Сравнение скорости сходимости. Численное исследование влияния параметра релаксации на скорости сходимости методов SOR и SSOR.

Тема 5. Быстрые нестационарные итерационные процессы. Метод сопряженных направлений, чебышевский метод

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Метод сопряженных направлений (CGM). Теория и вывод формул метода, различные формы реализации CGM. Модификация метода при использовании предобуславливателя. Итерационный метод решения СЛАУ с чебышевским набором параметров. Сравнение скорости сходимости метода с SOR и CGM.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Численное решение модельной эллиптической задачи с применением итерационных методов сопряженных направлений и чебышевского метода.

Тема 6. Предобуславливающие операторы (preconditioners). Предобуславливатель Якоби. Неполное разложение Холецкого, модифицированное неполное разложение. Предобуславливание и масштабирование

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Предобуславливающие матрицы как средство ускорения сходимости. Требование к предобуславливателю: близость спектральных свойств к исходной матрице и простота обращения. Диагональный предобуславливатель Якоби. Трехдиагональный предобуславливатель. Факторизованный треугольный предобуславливатель неполное разложение Холецкого (ILU) и модифицированного неполного разложения (MILU). Два варианта MILU и MILDU. Предобуславливание и масштабирование для плохообусловленных матриц с сильно меняющимися коэффициентами.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Численное решение модельной задачи методом CGM с предобуславливателем Якоби. Построение предобуславливателей ILU и MILDU. Численное решение модельной задачи с сильно меняющимися коэффициентами методом CGM с предобуславливателями ILU и MILDU. Реализация масштабирования матрицы. Сравнение скорости сходимости.

Тема 7. Многосеточный метод. Операторы сглаживания, ограничения и продолжения. V и W циклы

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Метод двухсеточной коррекции. Операторы сглаживания (метод Зейделя), варианты операторов ограничения (fine-to-coarse) и продолжения (coarse-to-fine). Прямая инъекция, полное и неполное взвешивание. Многосеточный геометрический метод для сеточных схем на структурированных сетках. V и W циклы. Понятие о негнездованных (non-nested) многосеточных методах для неструктурированных сеток.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Решение модельной эллиптической задачи методом двухсеточной коррекции. Численное решение модельной эллиптической задачи на прямоугольной равномерной сетке многосеточным геометрическим методом (V-циклы).

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

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

А.А.Самарский, Е.С.Николаев. Методы решения сеточных -

http://eknigi.org/estestvennye_nauki/146927-metody-resheniya-setochnyx-uravnenij.html

Бесплатная электронная библиотека. А.А. Самарский, А.В. Гулин, Численные методы - -

<http://www.mat.net.ua/mat/Gulin-Chislennye-metodi.htm>

Научная электронная библиотека - <http://elibrary.ru/>

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Студентам необходимо посещать лекции, вести конспект лекций вслед за изложением материала преподавателем. Рекомендуется прорабатывать конспект в течение дня после лекции и просматривать его вновь накануне следующей лекции. В случае обнаружения ошибок или возникновения вопросов по предыдущему материалу необходимо обратиться к преподавателю.
практические занятия	Для подготовки к практическим занятиям студенту рекомендуется предварительно прорабатывать как лекционный материал, так и материал предыдущих практических занятий. Основой для подготовки служит добросовестное выполнение домашнего задания. Для успешного решения задач первой части курса студентам рекомендуется вспомнить материал, освоенный в предыдущих семестрах в рамках базовых математических дисциплин.

Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов состоит из двух основных частей - проработка лекционного материала и выполнения домашних заданий. Для освоения теоретического и практического материала, в случае, когда конспектов оказывается недостаточным, или для более детальной проработки отдельных тем рекомендуется использовать литературу, указанную в соответствующем разделе. Все возникающие вопросы рекомендуется заранее четко сформулировать и впоследствии обсудить с преподавателем.
экзамен	Подготовку к экзамену рекомендуется разделить на два этапа. На первом этапе прорабатываются все экзаменационные вопросы и формулируются вопросы к преподавателю в рамках консультации по разделам, недостаточно подробно описанным в рамках лекционного курса или более трудным в освоении материала. После консультации происходит окончательная проработка и закрепление материала по всем экзаменационным вопросам.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Компьютерный класс.

12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи;
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;

- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 01.04.03 "Механика и математическое моделирование" и магистерской программе "Механика жидкости, газа и плазмы".

Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2020

Основная литература:

Особенности численной реализации методов решения прямых и обратных краевых задач аэрогидродинамики, Марданов, Ренат Фаритович, 2013г.

Механика сплошной среды, Нигматулин, Роберт Искандерович, 2014г.

1.Бухгольц, Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч. 1: Кинематика, статика, динамика материальной точки : учебник Издательство: Лань, 2009. - 480 с. //

<http://e.lanbook.com/view/book/32/>

2.Бухгольц, Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч. 2: Динамика системы материальных точек : учебник Издательство: Лань, 2009. - 336 с. //

<http://e.lanbook.com/view/book/33/>

Дополнительная литература:

1.Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике: учебник Издательство: Лань, 2012. - 448 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/2786/>

2.Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Том 1: Статика и кинематика: учебник Издательство: Лань, 2013. - 672 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/4551/>

3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник. - Издание 7-е, исправленное. - Москва: Дрофа, 2003. - 840 с.

Приложение 3
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.03 Методы решения сеточных уравнений

Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2020

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.