

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Набережночелнинский институт (филиал)
Отделение информационных технологий и энергетических систем



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
по образовательной деятельности
НЧИ КФУ

Ахметов Н.Д.

«22» февраля 2022 г.

Программа дисциплины (модуля)

Методы оптимизации

Направление подготовки: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика

Профиль подготовки: отсутствует

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

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 доцент, к.техн.н. Мышкина И.Ю. (Кафедра системного анализа и информатики, Отделение информационных технологий и энергетических систем, Набережночелнинский институт (филиал) КФУ), IJMyshkina@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-2	Способен понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

основы построения математических моделей задач оптимизации, классификацию задач и методы оптимизации; теоретические основы и численные алгоритмы решения задач линейного и нелинейного программирования.

Должен уметь:

представлять формализованные и содержательные постановки задач конечномерной оптимизации; совершенствовать и применять современный математический аппарат теории оптимизации для решения прикладных задач, решать задачи оптимизации с применением пакетов для научных и инженерных расчетов.

Должен владеть:

навыками применения современного математического аппарата теории оптимизации для решения прикладных задач; навыками использования инструментальных средств систем компьютерной математики.

Должен демонстрировать способность и готовность:

применять результаты освоения дисциплины в профессиональной деятельности.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в блок "Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.03.02 "Прикладная математика и информатика" и относится к вариативной части.

Осваивается на 4 курсе в 7 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 5 зачетных единиц на 180 часов.

Контактная работа - 90 часов, в том числе лекции - 36 часов, практические занятия - 0 часов, лабораторные работы - 54 часа, контроль самостоятельной работы - 0 часов.

Самостоятельная работа - 54 часа.

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часов.

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 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. Общая постановка задачи оптимизации и основные положения.	7	4	0	0	10
2.	Тема 2. Необходимые и достаточные условия безусловного экстремума.	7	4	0	8	10
3.	Тема 3. Численные методы поиска безусловного экстремума.	7	6	0	10	10
4.	Тема 4. Необходимые и достаточные условия условного экстремума.	7	6	0	8	10
5.	Тема 5. Численные методы поиска условного экстремума.	7	6	0	10	10
6.	Тема 6. Задачи линейного программирования.	7	6	0	10	0
7.	Тема 7. Динамическое программирование.	7	4	0	8	4
	Итого		36	0	54	54

4.2 Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Общая постановка задачи оптимизации и основные положения.

Введение. Роль методов оптимизации. Объекты оптимизации и критерии оптимальности. Формулировка и классификация задач оптимизации. Формулировка задачи вариационного исчисления. Экстремумы. Локальный и глобальный минимум. Поверхность уровня функции. Линии уровня. Градиент. Матрица Гессе. Выпуклая функция.

Тема 2. Необходимые и достаточные условия безусловного экстремума.

Постановка задачи и основные определения. Необходимые условия экстремума первого порядка. Необходимые условия экстремума второго порядка. Достаточные условия экстремума. Критерий проверки достаточных условий экстремума (критерий Сильвестра). Критерий проверки необходимых условий экстремума второго порядка. Примеры решения задач.

Тема 3. Численные методы поиска безусловного экстремума.

Принципы построения численных методов поиска безусловного экстремума. Методы нулевого порядка. Методы одномерной минимизации (постановка задачи и стратегии поиска, методы одномерного поиска, методы деления интервала пополам, метод золотого сечения, метод дихотомии, метод квадратичной интерполяции).

Методы первого порядка. Методы второго порядка. Скорость сходимости метода

оптимизации.

Тема 4. Необходимые и достаточные условия условного экстремума.

Постановка задачи и основные определения. Особенности решения задач условной оптимизации. Функция Лагранжа. Условный экстремум при ограничениях типа равенств. Условный экстремум при ограничениях типа неравенств. Теорема Куна-Таккера. Условный экстремум при смешанных ограничениях. Примеры решения задач.

Тема 5. Численные методы поиска условного экстремума.

Принципы построения численных методов поиска условного экстремума. Методы последовательной безусловной оптимизации и метод возможных направлений. Методы последовательной безусловной оптимизации (метод штрафных функций, метод барьерных функций, комбинированный метод штрафных функций, метод множителей, метод точных штрафных функций).

Тема 6. Задачи линейного программирования.

Примеры задач линейного программирования (ЛП). Формы записи задач ЛП. Графическое решение задач ЛП. Свойства задач ЛП. Понятие о симплекс-методе. Алгоритм симплекс-метода. Определение начального допустимого базисного решения. Метод минимизации невязок. Поиск оптимального решения. Метод искусственного базиса. Транспортная задача ЛП (Т-задача). Определение начального опорного решения и оптимального решения Т-задачи. Двойственная задача.

Тема 7. Динамическое программирование.

Общая задача динамического программирования. Принцип оптимальности. Алгоритм решения задачи динамического программирования. Задача об оптимальном маршруте. Задача о распределении ресурсов. Задача о ранце. Задача календарного планирования трудовых ресурсов. Стохастическая задача распределения ресурсов.

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 №14-55-99бин/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);
- индикаторы 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 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 библиотеке НЧИ КФУ. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования 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 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных в рабочей программе дисциплины, на одного обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень 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 библиотеки НЧИ КФУ.

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

Материалы по продуктам MATLAB & Toolboxes - <https://hub.exponenta.ru/>

Национальный открытый институт ИНТУИТ - <http://intuit.ru>

Общероссийский математический портал - <http://www.mathnet.ru>

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

Вид работ	Методические рекомендации
-----------	---------------------------

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Во время лекционных занятий студенту рекомендуется вести краткий конспект, фиксируя основные теоретические положения изучаемых разделов дисциплины. В качестве источников получения теоретических и справочных сведений лекции можно рассматривать как первичный, однако не единственный источник. Помимо лекций студент должен активно и самостоятельно работать с литературными источниками, источниками в сети Интернет. В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся работают на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams". Все необходимые учебно-методические материалы, учебники, учебные пособия, обучающие видеоролики размещаются на вкладке Файлы канала Общий в соответствующей команде "Microsoft Teams". Лекции проводятся в режиме видеособрания в соответствии с учебным расписанием.
лабораторные работы	Задачи, решаемые в ходе лабораторного практикума, рассчитаны на применение теоретических знаний, получаемых при освоении лекционного материала по определенной теме. При этом при решении каждой последующей задачи, как правило, требуются знания предыдущих тематических разделов лекционного курса, и навыки, полученные при решении предыдущих задач. Рекомендуемая схема выполнения задания к лабораторной работе по данной дисциплине включает следующие этапы: 1. Ознакомление с заданием. 2. Изучение необходимого теоретического материала по предметной области задачи. 3. Проработка необходимого теоретического материала, связанного с разработкой алгоритма. 4. Изучение примеров решения аналогичных задач. 5. Разработка алгоритма. 6. Проработка необходимого теоретического материала, связанного с программной реализацией алгоритма решения задачи. 7. Создание проекта приложения и кодирование алгоритма на языке программирования. 8. Отладка и тестирование программы. Защита лабораторной работы заключается в проверке преподавателем текста программы (при необходимости, алгоритма), ее работоспособности при различных исходных данных. В ходе защиты преподаватель задает студенту вопросы, касающиеся работы программы, а также соответствующего лекционного материала и предметной области задачи (если есть). Неспособность студента грамотно объяснить принципы работы его программы, особенности алгоритма являются поводом для преподавателя усомниться в авторстве программы. Наличие корректно работающей и качественно оформленной программы не являются гарантией высокой оценки. В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams". Все необходимые учебно-методические материалы, учебники, учебные пособия, обучающие видеоролики размещаются на вкладке Файлы канала Общий в соответствующей команде "Microsoft Teams". Консультации по лабораторным работам и их проверка проводятся в режиме видеособрания в соответствии с учебным расписанием. Задания для обучающихся размещаются на вкладке Задания канала Общий в соответствующей команде "Microsoft Teams".

Вид работ	Методические рекомендации
самостоя- тельная работа	Самостоятельная работа по дисциплине заключается в следующем: доработка лабораторных работ, изучение теоретического материала на основе изучения конспектов лекций и рекомендованных учебников и учебных пособий, подготовка экзамену. При работе с литературой следует в первую очередь обращаться к основной литературе по дисциплине, причем работа с литературными источниками и источниками сети Интернет должна проводиться систематически, в процессе этой работы студент должен стараться получить полное представление об интересующих его вопросах, особенно, если возникли трудности в понимании какой-то темы. В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams". Все необходимые учебно-методические материалы, учебники, учебные пособия, обучающие видеоролики размещаются на вкладке Файлы канала Общий в соответствующей команде "Microsoft Teams". Консультации проводятся в режиме видеособрания в соответствии с расписанием, согласованным с преподавателям.
отчет	После выполнения всех заданий каждой лабораторной работы должен быть подготовлен отчет в текстовом процессоре MS Word. Отчет должен содержать все требуемые разделы, а именно: 1. Цель работы. 2. Постановка задачи. 3. Краткие теоретические сведения. 4. Описание реализуемого метода. 5. Алгоритм решения задачи. Блок-схема или словесный алгоритм. 6. Листинг программы. 7. Контрольный тест. Подраздел содержит наборы исходных данных и полученные в ходе выполнения программы результаты. 8. Достоинства и недостатки используемых методов. 9. Выводы по лабораторной работе. В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams". Задания для обучающихся размещаются на вкладке Задания канала Общий в соответствующей команде "Microsoft Teams". Файл отчета обучающиеся размещают на странице с соответствующим заданием, защита отчета осуществляется в режиме видеособрания.
устный опрос	После изучения некоторых разделов дисциплины проводится устный опрос. Для подготовки к опросу студентам рекомендуется изучить соответствующий лекционный материал, в случае необходимости обращаясь к рекомендованной по дисциплине литературе. В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams". Устный опрос проводится в режиме видеособрания на практических занятиях в соответствии с учебным расписанием.
экзамен	При подготовке к экзамену необходимо опираться прежде всего на лекции и результаты, полученные в ходе выполнения лабораторных работ. В случае возникновения трудностей в понимании какой-либо темы следует обратиться к

Вид работ	Методические рекомендации
	литературе по тематике дисциплины, рекомендованной преподавателем. В каждом билете на экзамене содержатся два вопроса. Если баллы за работу в семестре низкие (менее 30 баллов), на экзамене может быть предложено практическое задание, соответствующее тематике лабораторных работ. Для успешного ответа на экзамене студент должен: - корректно и в достаточном объеме осветить данные теоретические вопросы - продемонстрировать знания как лекционного материала, так и материала из литературных источников; - корректно ответить на вопросы, задаваемые в ходе устного опроса по тематике полученных вопросов; - предоставить корректно выполненную работу, результаты выполнения которой соответствуют практическому заданию; - ответить на вопросы преподавателя, касающиеся непосредственно технологии выполнения задания; - свободно ориентироваться в терминологии тех тем (разделов) дисциплины, к которым принадлежат полученные теоретические вопросы и практическое задание. В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах: в команде "Microsoft Teams" .

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 и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории – помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованные специальной мебелью и оборудованием:

- Компьютеры
- Меловая доска

Рабочий кабинет – помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

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 01.03.02 "Прикладная математика и информатика"

Приложение №1
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Методы оптимизации

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Набережночелнинский институт (филиал)
Отделение информационных технологий и энергетических систем

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
Методы оптимизации

Направление подготовки/специальность: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика
Направленность (профиль) подготовки: отсутствует
Квалификация выпускника: бакалавр
Форма обучения: очная
Язык обучения: русский
Год начала обучения по образовательной программе: 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. СООТВЕТСТВИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ ПЛАНИРУЕМЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

2. ИНДИКАТОРЫ ОЦЕНИВАНИЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЦЕНОК ЗА ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНУЮ АТТЕСТАЦИЮ

4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА, ПОРЯДОК ИХ ПРИМЕНЕНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

4.1. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

4.1.1. Лабораторные работы

4.1.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.

4.1.1.2. Критерии оценивания

4.1.1.3. Содержание оценочного средства

4.1.2. Отчет по лабораторным работам

4.1.2.1. Порядок проведения и процедура оценивания

4.1.2.2. Критерии оценивания

4.1.2.3. Содержание оценочного средства

4.1.3. Устный опрос

4.1.3.1. Порядок проведения и процедура оценивания

4.1.3.2. Критерии оценивания

4.1.3.3. Содержание оценочного средства

4.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4.2.1. Экзамен (устный/письменный ответ на контрольные вопросы)

4.2.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.

4.2.1.2. Критерии оценивания.

4.2.1.3. Оценочные средства

1. Соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю)

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенций для данной дисциплины	Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации
ПК-2 – Способен понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат	<u>Знать:</u> основы построения математических моделей задач оптимизации, классификацию задач и методы оптимизации; теоретические основы и численные алгоритмы решения задач линейного и нелинейного программирования. <u>Уметь:</u> представлять формализованные и содержательные постановки задач конечномерной оптимизации; совершенствовать и применять современный математический аппарат теории оптимизации для решения прикладных задач, решать задачи оптимизации с применением пакетов для научных и инженерных расчетов. <u>Владеть:</u> навыками применения современного математического аппарата теории оптимизации для решения прикладных задач; навыками использования инструментальных средств систем компьютерной математики.	Текущий контроль: 1. Лабораторные работы по темам: Тема 2. Необходимые и достаточные условия безусловного экстремума. Тема 3. Численные методы поиска безусловного экстремума. Тема 4. Необходимые и достаточные условия условного экстремума. Тема 5. Численные методы поиска условного экстремума. Тема 6. Задачи линейного программирования. Тема 7. Динамическое программирование. 2. Отчет по лабораторным работам по темам: Тема 2. Необходимые и достаточные условия безусловного экстремума. Тема 3. Численные методы поиска безусловного экстремума. Тема 4. Необходимые и достаточные условия условного экстремума. Тема 5. Численные методы поиска условного экстремума. Тема 6. Задачи линейного программирования. Тема 7. Динамическое программирование. 3. Устный опрос по темам: Тема 1. Общая постановка задачи оптимизации и основные положения. Промежуточная аттестация: Экзамен (контрольные вопросы).

2. Индикаторы оценивания сформированности компетенций

Комп етенц ия	Зачтено			Не зачтено
	Высокий уровень (отлично) (86-100 баллов)	Средний уровень (хорошо) (71-85 баллов)	Низкий уровень (удовлетворительно) (56-70 баллов)	Ниже порогового уровня (неудовлетворит ельно) (0-55 баллов)
ПК-2	<u>Знает</u> и понимает основы построения математических моделей задач оптимизации, классификацию задач и методы оптимизации; теоретические основы и численные алгоритмы решения задач линейного и нелинейного программирования.	<u>Знает</u> и понимает некоторые основы построения математических моделей задач оптимизации, классификацию задач и методы оптимизации; теоретические основы и некоторые численные алгоритмы решения задач линейного и нелинейного программирования.	<u>Имеет</u> общее представление об основах построения математических моделей задач оптимизации, классификации задач и методах оптимизации; теоретических основах и численных алгоритмах решения задач линейного и нелинейного программирования.	<u>Не знает</u> основы построения математических моделей задач оптимизации, классификацию задач и методы оптимизации; теоретические основы и численные алгоритмы решения задач линейного и нелинейного программирования.
	<u>Умеет</u> представлять формализованные и содержательные постановки задач конечномерной оптимизации; совершенствовать и применять современный математический аппарат теории оптимизации для решения прикладных задач, решать задачи оптимизации с применением пакетов для научных и инженерных расчетов.	<u>Умеет</u> представлять содержательные постановки задач конечномерной оптимизации; применять современный математический аппарат теории оптимизации для решения прикладных задач, решать задачи оптимизации с применением пакетов для научных и инженерных расчетов.	<u>Умеет</u> в стандартных ситуациях применять современный математический аппарат теории оптимизации для решения прикладных задач, решать стандартные задачи оптимизации с применением пакетов для научных и инженерных расчетов.	<u>Не умеет</u> представлять формализованные и содержательные постановки задач конечномерной оптимизации; совершенствовать и применять современный математический аппарат теории оптимизации для решения прикладных задач, решать задачи оптимизации с применением пакетов для научных и инженерных расчетов.
	<u>Владет</u> навыками применения современного	<u>Владет</u> навыками применения современного	<u>Владет</u> навыками использования инструментальных	<u>Не владеет</u> навыками применения

	математического аппарата теории оптимизации для решения прикладных задач; навыками использования инструментальных средств систем компьютерной математики.	математического аппарата теории оптимизации для решения стандартных прикладных задач; навыками использования инструментальных средств систем компьютерной математики.	средств систем компьютерной математики для решения задач оптимизации.	современного математического аппарата теории оптимизации для решения прикладных задач; навыками использования инструментальных средств систем компьютерной математики.
--	---	---	---	--

3. Распределение оценок за формы текущего контроля и промежуточную аттестацию

7 семестр:

Текущий контроль:

Лабораторные работы (ПК-2) – 30 баллов

Отчет по лабораторным работам (ПК-2) – 10 баллов

Устный опрос (ПК-2) – 10 баллов

Итого $30+10+10 = 50$ баллов

Промежуточная аттестация – экзамен.

Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, всего 30 вопросов.

В билете по 2 вопроса, время, отведенное на ответы – 1 час 30 минут.

Контрольные вопросы – 50 баллов, по 25 баллов за ответ на каждый вопрос

Итого $25+25 = 50$ баллов

Общее количество баллов по дисциплине за текущий контроль и промежуточную аттестацию: $50+50=100$ баллов.

Соответствие баллов и оценок:

Для экзамена:

56-70 – удовлетворительно;

71-85 – хорошо;

86-100 – отлично;

0-55 – неудовлетворительно.

4. Оценочные средства, порядок их применения и критерии оценивания

4.1. Оценочные средства текущего контроля

4.1.1. Лабораторные работы

4.1.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.

Лабораторные работы выполняются по следующим темам:

Тема 2. Необходимые и достаточные условия безусловного экстремума. Тема 3. Численные методы поиска безусловного экстремума. Тема 4. Необходимые и достаточные условия условного экстремума. Тема 5. Численные методы поиска условного экстремума. Тема 6. Задачи линейного программирования. Тема 7. Динамическое программирование.

Работа на занятиях предполагает выполнение типового задания с последующей подготовкой отчета о проделанной работе.

Рекомендуемая схема выполнения заданий к лабораторной работе по данной дисциплине включает следующие этапы:

- Ознакомление с заданием.
- Изучение необходимого теоретического материала.
- Изучение примеров выполнения задания.
- Разработка алгоритма решения поставленной задачи.

– Выполнение задания в соответствии с разработанным алгоритмом (реализация решения).

Защита лабораторной работы заключается в проверке преподавателем задания согласно определенному варианту. В ходе защиты преподаватель задает студенту вопросы, касающиеся технологии выполнения задания, а также соответствующего лекционного материала. Неспособность студента грамотно ответить на поставленные вопросы является поводом для преподавателя усомниться в авторстве работы.

В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах:

– в команде «Microsoft Teams».

4.1.1.2. Критерии оценивания

Механизм оценивания лабораторных работ:

1) 86-100% от максимального числа баллов

Задание выполнено в полном объеме и без ошибок. Методы использованы правильно. Обучающийся способен объяснить методы и алгоритмы, использованные при решении задачи; при защите работы получены полные ответы на все поставленные вопросы. Необходимые навыки и умения полностью освоены. Результат лабораторной работы полностью соответствует её целям.

2) 71-85% от максимального числа баллов

Задание выполнено в полном объеме с незначительными ошибками, обучающийся способен описать алгоритм решения задачи. Методы использованы в основном правильно. При защите работы получены полные ответы практически на все поставленные вопросы. Необходимые навыки и умения практически освоены в достаточном объеме. Результат лабораторной работы соответствует её целям.

3) 56-70% от максимального числа баллов

Задание выполнено более чем наполовину, в решении присутствуют ошибки, обучающийся способен описать порядок своих действий при решении задачи. Методы частично использованы правильно. При защите работы получены ответы только на часть поставленных вопросов. Необходимые навыки и умения не полностью освоены. Результат лабораторной работы не полностью соответствует её целям.

4) 0-55% от максимального числа баллов

Задание выполнено фрагментарно или не выполнено вообще, обучающийся не способен объяснить смысл своих действий при выполнении работы. Методы использованы неправильно. При защите работы не получены ответы на все вопросы. Необходимые навыки и умения не освоены. Результат лабораторной работы не соответствует её целям.

4.1.1.3. Содержание оценочного средства

Лабораторная работа № 1. Численные методы поиска безусловного экстремума. Методы нулевого порядка.

Задание. Реализовать 2 метода нулевого порядка (для функций одной и нескольких переменных) согласно варианту на любом ЯП (C++, ЯП Matlab).

Лабораторная работа №2. Численные методы поиска безусловного экстремума. Методы первого порядка.

Задание. Реализовать 1 метод первого порядка согласно варианту на любом ЯП (C++, ЯП Matlab).

Лабораторная работа №3. Численные методы поиска условного экстремума. Методы последовательной безусловной минимизации

Задание. Реализовать 1 метод поиска условного экстремума согласно варианту на любом ЯП (C++, ЯП Matlab).

Практическая работа № 4 Графический метод решения задач линейного программирования

Практическая работа № 5 Симплексный метод решения задач линейного программирования

Практическая работа № 6 Двойственные задачи и их экономическое содержание

Практическая работа № 7 Задача целочисленного линейного программирования

Практическая работа № 8 Динамическое программирование

Контрольные вопросы при сдаче результатов практической работы:

1. В чем состоит цель работы?
2. Какие задачи нужно решить в процессе выполнения работы?
3. Опишите методику выполнения работы.
4. Запишите основные расчетные соотношения, используемые в работе.
5. Какое программное и аппаратное обеспечение используется при выполнении работы?
6. Кратко опишите процесс выполнения работы.
7. Опишите основные результаты, полученные в процессе выполнения работы.
8. Соответствуют ли полученные результаты известным теоретическим положениям?
9. Какие выводы можно сделать по результатам выполнения работы?
10. При решении каких практических задач могут быть использованы получаемые результаты?

4.1.2. Отчет по лабораторным работам

4.1.2.1. Порядок проведения и процедура оценивания

Отчеты оформляются по следующим темам: Тема 2. Необходимые и достаточные условия безусловного экстремума. Тема 3. Численные методы поиска безусловного экстремума. Тема 4. Необходимые и достаточные условия условного экстремума. Тема 5. Численные методы поиска условного экстремума. Тема 6. Задачи линейного программирования. Тема 7. Динамическое программирование.

По каждой лабораторной работе студент готовит отчет. Отчет по каждой лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Постановка задачи.
3. Краткие теоретические сведения.
4. Описание реализуемого метода.
5. Алгоритм решения задачи. Блок-схема или словесный алгоритм.
6. Листинг программы.
7. Комментарии к программе.
8. Контрольный тест. Подраздел содержит наборы исходных данных и полученные в ходе выполнения программы результаты.
9. Достоинства и недостатки используемых методов.
10. Выводы по лабораторной работе.

Следует иметь в виду, что неправильное оформление отчета может привести к снижению итоговой оценки. Отчет должен быть подготовлен на персональном компьютере в MS Word и должен быть отпечатан на принтере на стандартном листе белой бумаги формата A4 на одной стороне (210x297 мм). Рекомендуемый шрифт - TimesNewRoman, межстрочный интервал полуторный, 14 кегль, в таблицах - 12, в подстрочных сносках - 10. На титульном листе надписи: «отчет по лабораторной работе № название работы» печатаются 18 шрифтом. Подчеркивание слов и выделение их курсивом не допускается. Поля сверху, снизу по 20 мм, справа - 20 мм, слева - 30 мм, отступ первой строки абзаца - 1,25, выравнивание по ширине.

Отчет включает титульный лист, оглавление, введение, основную часть, список использованных источников. Титульный лист заполняется по единому образцу. В оглавлении, следующим за титульным листом, перечисляются разделы отчета с указанием номеров страниц. Названия разделов (заголовки) выделяются полужирным шрифтом, и выравниваются по центру. В конце заголовка точка не ставится. Размер заголовка - 16 пт, подзаголовок - 14 пт. Каждый раздел начинается с новой страницы. Расстояние между заголовком и последующим текстом отделяют двумя полуторными межстрочными интервалами (одной пустой строкой). Страницы отчета должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами по всему тексту. Номер страницы проставляют в центре нижнего поля страницы без точки в конце. Первой страницей письменной работы является титульный лист. Он не нумеруется. Размер шрифта, используемого для нумерации должен быть меньше, чем у основного текста. В работе второй страницей является - оглавление.

В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах:

- в команде «Microsoft Teams».

4.1.2.2. Критерии оценивания

Механизм оценивания отчета:

- 1) 86-100% от максимального числа баллов

Задание выполнено правильно. Материал изложен грамотно, в четкой логической последовательности. Использованы надлежащие источники в нужном количестве. Структура и оформление отчета полностью соответствуют установленным требованиям. В отчете присутствуют все требуемые разделы в достаточном объеме. В ходе защиты работы студентом даны полные ответы на все вопросы.

- 2) 71-85% от максимального числа баллов

Задание выполнено правильно. Материал изложен грамотно. Использованы надлежащие источники. Структура и оформление отчета соответствуют установленным требованиям, однако имеются некоторые погрешности. В отчете присутствуют все требуемые разделы, но некоторые разделы описаны не достаточно подробно. В ходе защиты работы студентом даны неполные ответы на все вопросы.

- 3) 56-70% от максимального числа баллов

Задание выполнено в целом правильно, однако допущены ошибки. Материал отчета соответствует содержанию работы. В отчете присутствуют не все требуемые разделы в достаточном объеме. Оформление отчета в целом соответствует установленным требованиям, но в отчете присутствуют неточные формулировки и опечатки. В ходе защиты работы студентом даны ответы не на все вопросы.

- 4) 0-55% от максимального числа баллов

Задание не выполнено или выполнено с грубыми ошибками. Содержание и оформление отчета не соответствует содержанию работы и установленным требованиям. В отчете присутствуют не все требуемые разделы, объем отчета является недостаточным. В ходе защиты работы студентом не даны ответы на все вопросы.

4.1.2.3. Содержание оценочного средства

По каждой лабораторной работе студент готовит отчет. Отчет по каждой лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Постановка задачи.
3. Краткие теоретические сведения.
4. Описание реализуемого метода.
5. Алгоритм решения задачи. Блок-схема или словесный алгоритм.

6. Листинг программы.
7. Комментарии к программе.
8. Контрольный тест. Подраздел содержит наборы исходных данных и полученные в ходе выполнения программы результаты.
9. Достоинства и недостатки используемых методов.
10. Выводы по лабораторной работе.

Примерные вопросы к отчету:

1. Общая постановка задачи оптимизации.
2. Необходимые и достаточные условия условного и безусловного экстремума.
3. Общие принципы построения численных методов поиска условного и безусловного экстремума.
4. Методы одномерной минимизации.
5. Методы многомерной минимизации.
6. Скорость сходимости используемых численных методов оптимизации.
7. Понятие плохо обусловленной задачи оптимизации.
8. Решение задач оптимизации с помощью пакета Matlab. Стандартные функции.
9. Решение задач оптимизации средствами MS Excel.
10. Классификация задач и методов оптимизации.

4.1.3. Устный опрос

4.1.3.1. Порядок проведения и процедура оценивания

Устный опрос проводится по следующим темам: Тема 1. Общая постановка задачи оптимизации и основные положения.

Устный опрос проводится на лабораторных занятиях. Обучающиеся отвечают на вопросы преподавателя, участвуют в дискуссии. Оценивается уровень домашней подготовки по теме, способность системно и логично излагать материал, анализировать, формулировать собственную позицию, отвечать на дополнительные вопросы.

В случае применения в образовательном процессе дистанционных образовательных технологий обучающиеся выполняют задания на следующих платформах и ресурсах:

- в команде «Microsoft Teams».

4.1.3.2. Критерии оценивания

Механизм оценивания ответов при устном опросе:

- 1) 86-100% от максимального числа баллов
обучающийся знает весь теоретический материал по рассматриваемому вопросу, предусмотренный учебной программой; может дать подробное описание и провести сравнительный анализ различных подходов к решению рассматриваемой задачи; корректно использует понятийный аппарат; высказывает свою точку зрения по рассматриваемому вопросу и может ее аргументированно обосновать.
- 2) 71-85% от максимального числа баллов
обучающийся знает основные теоретические положения по рассматриваемому вопросу; может описать различные подходы к решению рассматриваемой задачи; корректно использует понятийный аппарат; высказывает свою точку зрения.
- 3) 56-70% от максимального числа баллов
обучающийся имеет общее представление о предмете обсуждения, способах решения рассматриваемой задачи; допускает ошибки при использовании понятийного аппарата; высказывает свои мысли сумбурно, ответ слабо структурирован.
- 4) 0-55% от максимального числа баллов

обучающийся не владеет теоретическим материалом; не владеет понятийным аппаратом; не способен внятно сформулировать свои мысли.

4.1.3.3. Содержание оценочного средства

Примерные вопросы:

Общая постановка задач оптимизации. Роль методов оптимизации. Объекты оптимизации и критерии оптимальности. Классификация задач оптимизации. Формулировка задачи вариационного исчисления. Экстремумы. Локальный и глобальный минимум. Поверхность уровня функции. Линии уровня. Градиент. Матрица Гессе. Выпуклая функция, свойства выпуклых функций. Геометрический смысл выпуклости функции. Унимодальные функции. Условие Липшица.

4.2. Оценочные средства промежуточной аттестации

4.2.1. Экзамен (устный/письменный ответ на контрольные вопросы)

4.2.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.

Экзамен проводится в устной или письменной форме по контрольным вопросам, всего 30 вопросов. Обучающемуся задается по 2 вопроса, время, отведенное на ответы – 1 час 30 минут.

4.2.1.2. Критерии оценивания.

Баллы в интервале 86-100% от максимальных ставятся, если:

Обучающийся дал полный ответ на все вопросы, при ответе использовал примеры практического применения рассматриваемого теоретического материала, ответил на все дополнительные вопросы, ответ четкий и хорошо структурированный, освоен понятийный аппарат. Обучающийся усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины, значение дисциплины для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала

Баллы в интервале 71-85% от максимальных ставятся, если:

Обучающийся дал полный ответ на все вопросы, однако испытывал затруднение с приведением практических примеров применения рассматриваемого теоретического материала, ответил не на все дополнительные вопросы, ответ структурирован, освоен понятийный аппарат. Обучающийся показал систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности

Баллы в интервале 56-70% от максимальных ставятся, если:

Обучающийся раскрыл вопросы лишь частично, не смог привести практические примеры применения рассматриваемого теоретического материала, частично ответил на некоторые из дополнительных вопросов, допускает ошибки при использовании понятийного аппарата, однако обучающийся обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

Баллы в интервале 0-55% от максимальных ставятся, если:

Обучающийся не ответил на вопросы или же ответы не соответствовали заданным вопросам, не дал адекватного ответа на дополнительные вопросы, допускает грубые ошибки при использовании понятийного аппарата или не использует понятийный аппарат предметной области вовсе.

4.2.1.3. Оценочные средства

Вопросы к экзамену:

1. Общая постановка задачи оптимизации. Роль методов оптимизации.

2. Классификация методов оптимизации.
3. Необходимые и достаточные условия безусловного экстремума.
4. Принципы построения численных методов поиска безусловного экстремума.
5. Методы нулевого порядка. Методы одномерной минимизации (постановка задачи и стратегии поиска, методы деления интервала пополам).
6. Методы нулевого порядка. Методы одномерной минимизации (постановка задачи и стратегии поиска, метод золотого сечения).
7. Методы нулевого порядка. Методы одномерной минимизации (постановка задачи и стратегии поиска, метод дихотомии).
8. Методы нулевого порядка. Методы одномерной минимизации (постановка задачи и стратегии поиска, метод квадратичной интерполяции).
9. Одномерная минимизация. Методы, использующие информацию о производной целевой функции.
10. Многомерная безусловная оптимизация. Методы нулевого порядка.
11. Метод деформируемого многогранника.
12. Метод конфигураций (Хука-Дживса).
13. Многомерная безусловная оптимизация. Методы первого порядка.
14. Многомерная минимизация. Методы градиентного спуска.
15. Многомерная безусловная оптимизация. Методы второго порядка.
16. Многомерная безусловная оптимизация. Метод Ньютона.
17. Скорость сходимости метода оптимизации.
18. Необходимые и достаточные условия условного экстремума. Условный экстремум при ограничениях типа равенств.
19. Необходимые и достаточные условия условного экстремума. Условный экстремум при ограничениях типа неравенств.
20. Необходимые и достаточные условия условного экстремума. Условный экстремум при смешанных ограничениях.
21. Принципы построения численных методов поиска условного экстремума. Методы последовательной безусловной оптимизации и метод возможных направлений.
22. Методы последовательной безусловной оптимизации (метод штрафных функций, метод барьерных функций).
23. Задача линейного программирования (ЛП). Формы записи задач ЛП.
24. Графическое решение задач ЛП. Свойства задач ЛП.
25. Понятие о симплекс-методе. Алгоритм симплекс-метода.
26. Целочисленное программирование.
27. Общая задача динамического программирования. Принцип оптимальности. Алгоритм решения задачи динамического программирования.
28. Динамическое программирование. Задача об оптимальном маршруте.
29. Динамическое программирование. Задача о распределении ресурсов.
30. Динамическое программирование. Задача о ранце.

Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Профиль подготовки: отсутствует

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

Литература:

1. Пантелеев А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах : учебное пособие / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. - Санкт-Петербург : Лань, 2015. - 512 с. - ISBN 978-5-8114-1887-9. - URL : <https://e.lanbook.com/book/67460> (дата обращения 11.07.2020). - Текст : электронный.
2. Лесин В. В. Основы методов оптимизации : учебное пособие / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. - Санкт-Петербург : Лань, 2016. - 344 с. - ISBN 978-5-8114-1217-4. - URL : <https://e.lanbook.com/book/86017> (дата обращения 11.07.2020). - Текст : электронный.
3. Колбин В. В. Специальные методы оптимизации : учебное пособие / В. В. Колбин. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 384 с. - ISBN 978-5-8114-1536-6. - URL : <https://e.lanbook.com/book/41015> (дата обращения 11.07.2020). - Текст : электронный.
4. Васильев Ф. П. Методы оптимизации. Кн.1: учебное пособие / Ф. П. Васильев. - Москва : МЦНМО, 2011. - 624 с. - ISBN 978-5-94057-707-2. - URL : <https://e.lanbook.com/book/9304> (дата обращения 11.07.2020). - Текст : электронный.
5. Васильев Ф. П. Методы оптимизации. Кн.2 : учебное пособие / Ф. П. Васильев. - Москва : МЦНМО, 2011. - 434 с. - ISBN 978-5-94057-708-9. - URL : <https://e.lanbook.com/book/9305> (дата обращения 11.07.2020). - Текст : электронный.
6. Сухарев А. Г. Курс методов оптимизации: учебное пособие / А. Г. Сухарев, А. В. Тимохов, В. В. Федоров. - Москва : Физматлит, 2011. - 384 с. - ISBN 978-5-9221-0559-0. - URL : <https://e.lanbook.com/book/2330> (дата обращения 11.07.2020). - Текст : электронный.
7. Бесов О. В. Лекции по математическому анализу : учебник / О. В. Бесов. - Москва : Физматлит, 2014. - 480 с. - ISBN 978-5-9221-1506-3. - URL : <https://e.lanbook.com/book/59678> (дата обращения 11.09.2020). - Текст : электронный.
8. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах : учебное пособие / И. Л. Акулич. - Санкт-Петербург : Лань, 2011. - 352 с. - ISBN 978-5-8114-0916-7. - URL : <https://e.lanbook.com/book/2027> (дата обращения 11.07.2020). - Текст : электронный.
9. Окулов С. М. Динамическое программирование : учебное пособие / С. М. Окулов, О. А. Пестов. - Москва : Издательство 'Лаборатория знаний', 2020. - 299 с. - ISBN 978-5-00101-683-0. - URL : <https://e.lanbook.com/book/135554> (дата обращения 11.07.2020). - Текст : электронный.

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

Направление подготовки: 01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Профиль подготовки: отсутствует

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

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

Операционная система Microsoft Windows 7

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Acrobat Reader

Антивирус Касперского

Qt Creator

Mathworks Matlab R2014b

ЭБС "ZNANIUM.COM"

ЭБС Издательства "Лань"

ЭБС "Консультант студента"

ЭБС "Айбукс"