

**Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего образования
«ФИНАНСОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»
(Финансовый университет)**

**Департамент анализа данных и машинного обучения
Факультета информационных технологий и анализа больших данных**

УТВЕРЖДАЮ

**Проректор по учебной
и методической работе**

_____ Каменева Е.А.

25.04.2023 г.

Никитин П.В.

Оптимизационные задачи в машинном обучении

Рабочая программа дисциплины
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
01.03.02 Прикладная математика и информатика,
ОП «Прикладная математика и информатика»
(Анализ данных и принятие решений в экономике и финансах)

*Рекомендовано Ученым советом
Факультета информационных технологий и анализа больших данных
(протокол №31 от 18.04.2023 г.)*

*Одобрено Советом учебно-научного
Департамента анализа данных и машинного обучения
(протокол №2 от 29.03.2023 г.)*

Москва 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Наименование дисциплины.....	2
2. Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине.....	2
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	3
4. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах и в академических часах с выделением объема аудиторной (лекции, семинары) и самостоятельной работы обучающихся.....	3
5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) дисциплины с указанием их объемов (в академических часах) и видов учебных занятий.....	3
5.1. Содержание дисциплины.....	3
5.2. Учебно-тематический план.....	6
5.3. Содержание семинаров, практических занятий.....	7
6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы магистрантов, обучающихся по дисциплине.....	9
6.1. Перечень вопросов, отводимых на самостоятельное освоение дисциплины, формы внеаудиторной самостоятельной работы.....	9
6.2. Перечень вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю	10
7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	12
8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	16
9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	17
10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	18
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем.....	18
12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	19

1. Наименование дисциплины

«Оптимизационные задачи в машинном обучении».

2. Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения (умения и знания), соотношенные с индикаторами достижения компетенции
ПКП-5	Способность применять методы и инструменты анализа данных и машинного обучения при подготовке аналитического обоснования финансово экономических решений.	1. Осуществляет обоснованный выбор методов и инструментов обработки данных для решения экономических и финансовых задач. 2. Владеет навыками решения прикладных задач с использованием методов и инструментов анализа данных и машинного обучения.	<u>Знать</u> основные алгоритмы машинного обучения, используемые в задачах компьютерного зрения. <u>Уметь</u> применять алгоритмы машинного обучения в задачах компьютерного зрения. <u>Знать</u> основные задачи информационных систем относительно компьютерного зрения. <u>Уметь</u> ставить задачи компьютерного зрения в комплексной информационной системе.
ПКП-6	Способность ставить и решать оптимизационные задачи в различных сферах экономики и финансов.	1. Владеет оптимизационными методами, демонстрирует знание принципов и особенностей выбора оптимизационных методов в зависимости от поставленной задачи. 2. Разрабатывает оптимизационные модели в области экономики и финансов.	<u>Знать</u> основные математические модели решения оптимизационных задач в машинном обучении. <u>Уметь</u> ставить оптимизационные задачи в машинном обучении и решать их целесообразными оптимизационными методами для повышения быстродействия и качества обучения. <u>Знать</u> методику построения оптимизационных моделей <u>Уметь</u> выбрать подходящий тип модели на основе анализа исходных данных

		3. Решает оптимизационные задачи в различных сферах экономики и финансов.	<u>Знать</u> методы решения оптимизационных задач <u>Уметь</u> применять методы решения задач на практике
--	--	---	--

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Оптимизационные задачи в машинном обучении» относится к Циклу профиля (элективный) Анализ данных и принятие решений в экономике и финансах по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, ОП «Прикладная математика и информатика».

4. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах и в академических часах с выделением объема аудиторной (лекции, семинары) и самостоятельной работы обучающихся

Вид учебной работы по дисциплине	Всего (в з/е и часах)	Семестр 6 (в часах)
Общая трудоемкость дисциплины	3 з/е, 108 ч.	108
<i>Контактная работа - Аудиторные занятия</i>	<i>50</i>	<i>50</i>
<i>Лекции</i>	<i>16</i>	<i>16</i>
<i>Семинары, практические занятия</i>	<i>34</i>	<i>34</i>
<i>Самостоятельная работа</i>	<i>58</i>	<i>58</i>
Вид текущего контроля	контрольная работа	контрольная работа
Вид промежуточной аттестации	зачет	зачет

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) дисциплины с указанием их объемов (в академических часах) и видов учебных занятий

5.1. Содержание дисциплины

1. Основные понятия и примеры задач

Постановка оптимизационной задачи. Оптимизационные задачи в машинном обучении. Классы функций в оптимизации. Градиент и гессиан функции многих переменных, их свойства, необходимые и достаточные условия безусловного экстремума. Матричные разложения, их использование для решения СЛАУ.

Структура итерационного процесса в оптимизации, понятие оракула, критерии останова. Глобальная и локальная оптимизация, скорости сходимости итерационных процессов оптимизации.

2. Методы одномерной оптимизации

Минимизация функции без производной: метод золотого сечения, метод парабол. Гибридный метод минимизации Брента. Методы решения уравнения: метод деления отрезка пополам, метод секущей. Минимизация функции с известной производной: кубическая аппроксимация и модифицированный метод Брента. Поиск ограничивающего сегмента. Условия Армихо-Голдштайна-Вольфа для неточного решения задачи одномерной оптимизации. Неточные методы одномерной оптимизации.

3. Методы многомерной оптимизации

Метод градиентного спуска: наискорейший спуск, спуск с неточной одномерной оптимизацией, зависимость от шкалы измерений признаков. Метод Ньютона: схема метода, скорость сходимости, подбор длины шага, способы коррекции гессиана до положительно-определённой матрицы. Метод сопряженных градиентов для оптимизации неквадратичных функций, стратегии рестарта, зависимость от точной одномерной оптимизации. Неточный (безгессианный) метод Ньютона: схема метода, способы оценки произведения гессиана на вектор через вычисление градиента. Применение неточного метода Ньютона для обучения линейного классификатора и нелинейной регрессии, аппроксимация Гаусса-Ньютона и адаптивная стратегия Levenberg-Marquardt. Квазиньютоновские методы оптимизации: DFP, BFGS и L-BFGS.

4. Методы оптимизации с использованием глобальных верхних оценок, зависящих от параметра

Вероятностная модель линейной регрессии с различными регуляризациями: квадратичной, L1, Стюдента. Идея метода оптимизации, основанного на использовании глобальных оценок, сходимость метода. Пример применения метода для обучения LASSO. Построение глобальных оценок с помощью неравенства Йенсена, EM-алгоритм, его применение для вероятностных моделей линейной

регрессии. Построение оценок с помощью касательных и замены переменной. Оценка Jaakkola-Jordan для логистической функции, оценки для распределений Лапласа и Стюдента. Применение оценок для обучения вероятностных моделей линейной регрессии.

5. Методы внутренней точки

Необходимые и достаточные условия оптимальности в задачах условной оптимизации, условия Куна-Таккера и условия Джона, соотношение между ними. Выпуклые задачи условной оптимизации, двойственная функция Лагранжа, двойственная задача оптимизации. Решение задач условной оптимизации с линейными ограничениями вида равенство, метод Ньютона. Прямо-двойственный метод Ньютона, неточный вариант метода. Метод логарифмических барьерных функций. Методы первой фазы. Прямо-двойственный метод внутренней точки. Использование методов внутренней точки для обучения SVM.

6. Разреженные методы машинного обучения

Модели линейной/логистической регрессии с регуляризациями L1 и L1/L2. Понятие субградиента выпуклой функции, его связь с производной по направлению, необходимое и достаточное условие экстремума для выпуклых негладких задач безусловной оптимизации. Метод наискорейшего субградиентного спуска. Проксимальный метод. Метод покоординатного спуска и блочной покоординатной оптимизации.

7. Методы отсекающих плоскостей

Понятие отделяющего оракула, базовый метод отсекающих плоскостей (cutting plane). Надграфная форма метода отсекающих плоскостей. Bundle-версия метода отсекающих плоскостей, зависимость от настраиваемых параметров. Применение bundle-метода для задачи обучения SVM. Добавление эффективной процедуры одномерного поиска. Реализация метода с использованием параллельных вычислений и в условиях ограничений по памяти.

8. Стохастическая оптимизация

Общая постановка задачи стохастической оптимизации, пример использования. Задачи минимизации среднего и эмпирического риска. Метод стохастического

градиентного спуска, две фазы итерационного процесса, использование усреднения и инерции. Стохастический градиентный спуск как метод оптимизации и как метод обучения. Метод SAG. Применение стохастического градиентного спуска для SVM (алгоритм PEGASOS). Метод имитации отжига. Метод роения частиц. Генетические алгоритмы.

5.2. Учебно-тематический план

№ п/п	Наименование тем (разделов) дисциплины	Трудоёмкость в часах					Формы текущего контроля успеваемости
		Всего	Контактная работа - Аудиторная работа			Самостоят ельная работа	
			Общая, в т.ч.:	Лекции	Семинары, практические занятия		
1	Основные понятия и примеры задач	13	6	2	4	7	Самостоятельные работы. Участие в решении задач на практических занятиях. Собеседования по домашним заданиям.
2	Методы одномерной оптимизации	13	6	2	4	7	
3	Методы многомерной оптимизации	13	6	2	4	7	
4	Методы оптимизации с использованием глобальных верхних оценок, зависящих от параметра	13	6	2	4	7	
5	Методы внутренней точки	13	6	2	4	7	
6	Разряженные методы машинного обучения	13	6	2	4	7	
7	Методы отсекающих плоскостей	14	6	2	4	8	
8	Стохастическая оптимизация	16	8	2	6	8	
	В целом по дисциплине	108	50	16	34	58	Согласно учебному плану: контрольная работа
	Итого в %		46	32	68	54	

5.3. Содержание семинаров, практических занятий

Наименование тем (разделов) дисциплины	Перечень вопросов для обсуждения на семинарских, практических занятиях, рекомендуемые источники из разделов 8,9 (указывается раздел и порядковый номер источника)	Формы проведения занятий
Основные понятия и примеры задач	Постановка оптимизационной задачи. Оптимизационные задачи в машинном обучении. Классы функций в оптимизации. Градиент и гессиан функции многих переменных, их свойства, необходимые и достаточные условия безусловного экстремума. Матричные разложения, их использование для решения СЛАУ. Структура итерационного процесса в оптимизации, понятие оракула, критерии останова. Глобальная и локальная оптимизация, скорости сходимости итерационных процессов оптимизации. Рекомендуемые источники: раздел 8 [1], [2]	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Методы одномерной оптимизации	Минимизация функции без производной: метод золотого сечения, метод парабол. Гибридный метод минимизации Брента. Методы решения уравнения: метод деления отрезка пополам, метод секущей. Минимизация функции с известной производной: кубическая аппроксимация и модифицированный метод Брента. Поиск ограничивающего сегмента. Условия Армихо-Голдштайна-Вольфа для неточного решения задачи одномерной оптимизации. Рекомендуемые источники: раздел 8 [1], [2]	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Методы многомерной оптимизации	Метод градиентного спуска: наискорейший спуск, спуск с неточной одномерной оптимизацией, зависимость от шкалы измерений признаков. Метод Ньютона: схема метода, скорость сходимости, подбор длины шага, способы коррекции гессиана до положительно-определённой матрицы. Неточный (безгессианный) метод Ньютона: схема метода, способы оценки произведения гессиана на вектор через вычисление градиента. Применение неточного метода Ньютона для обучения линейного классификатора и нелинейной регрессии, аппроксимация Гаусса-Ньютона и адаптивная стратегия Levenberg-Marquardt. Квазиньютоновские методы оптимизации: DFP, BFGS и L-BFGS. Рекомендуемые источники: раздел 8 [1], [2]	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Методы оптимизации с использованием	Вероятностная модель линейной регрессии с различными регуляризациями: квадратичной, L1, Стюдента. Идея метода оптимизации, основанного на использовании	Интерактивная форма, Практикум по

глобальных верхних оценок, зависящих от параметра	глобальных оценок, сходимость метода. Пример применения метода для обучения LASSO. Построение глобальных оценок с помощью неравенства Йенсена, ЕМ-алгоритм, его применение для вероятностных моделей линейной регрессии. Применение оценок для обучения вероятностных моделей линейной регрессии. Рекомендуемые источники: раздел 8 [1], [2]	решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Методы внутренней точки	Необходимые и достаточные условия оптимальности в задачах условной оптимизации, условия Куна-Таккера и условия Джона, соотношение между ними. Выпуклые задачи условной оптимизации, двойственная функция Лагранжа, двойственная задача оптимизации. Решение задач условной оптимизации с линейными ограничениями вида равенство, метод Ньютона. Прямо-двойственный метод Ньютона, неточный вариант метода. Использование методов внутренней точки для обучения SVM. Рекомендуемые источники: раздел 8 [1], [2]	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Разряженные методы машинного обучения	Модели линейной/логистической регрессии с регуляризациями L1 и L1/L2. Понятие субградиента выпуклой функции, его связь с производной по направлению, необходимое и достаточное условие экстремума для выпуклых негладких задач безусловной оптимизации. Метод наискорейшего субградиентного спуска. Рекомендуемые источники: раздел 8 [1]	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Методы отсекающих плоскостей	Понятие отделяющего оракула, базовый метод отсекающих плоскостей (cutting plane). Надграфная форма метода отсекающих плоскостей. Bundle-версия метода отсекающих плоскостей, зависимость от настраиваемых параметров. Применение bundle-метода для задачи обучения SVM. Добавление эффективной процедуры одномерного поиска. Рекомендуемые источники: раздел 8 [1]	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Стохастическая оптимизация	Общая постановка задачи стохастической оптимизации, пример использования. Задачи минимизации среднего и эмпирического риска. Метод стохастического	Интерактивная форма, Практикум по

	градиентного спуска, две фазы итерационного процесса, использование усреднения и инерции. Стохастический градиентный спуск как метод оптимизации и как метод обучения. Метод SAG. Генетические алгоритмы. Рекомендуемые источники: раздел 8 [1]	решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
--	---	---

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Перечень вопросов, отводимых на самостоятельное освоение дисциплины, формы внеаудиторной самостоятельной работы

Наименование тем (разделов) дисциплины	Перечень вопросов, отводимых на самостоятельное освоение	Формы внеаудиторной самостоятельной работы
Основные понятия и примеры задач	Примеры решения оптимизационных задач в экономике	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Методы одномерной оптимизации	Неточные методы одномерной оптимизации.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Методы многомерной оптимизации	Метод сопряженных градиентов для оптимизации неквадратичных функций, стратегии рестарта, зависимость от точной одномерной оптимизации.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Методы оптимизации с использованием глобальных верхних оценок, зависящих от параметра	Построение оценок с помощью касательных и замены переменной. Оценка Jaakkola-Jordan для логистической функции, оценки для распределений Лапласа и Стюдента.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Методы внутренней точки	Метод логарифмических барьерных функций. Методы первой фазы. Прямо-двойственный метод внутренней точки.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение

		домашних заданий к каждому занятию.
Разряженные методы машинного обучения	Проксимальный метод. Метод покоординатного спуска и блочной покоординатной оптимизации.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Методы отсекающих плоскостей	Реализация метода отсекающих плоскостей с использованием параллельных вычислений и в условиях ограничений по памяти.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Стохастическая оптимизация	Применение стохастического градиентного спуска для SVM (алгоритм PEGASOS). Метод имитации отжига. Метод роения частиц.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.

6.2. Перечень вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примерные вопросы к контрольной работе

1. Постановка оптимизационной задачи.
2. Оптимизационные задачи в машинном обучении.
3. Классы функций в оптимизации.
4. Градиент и гессиан функции многих переменных, их свойства, необходимые и достаточные условия безусловного экстремума.
5. Матричные разложения, их использование для решения СЛАУ.
6. Структура итерационного процесса в оптимизации, понятие оракула, критерии останова.
7. Глобальная и локальная оптимизация, скорости сходимости итерационных процессов оптимизации.
8. Минимизация функции без производной: метод золотого сечения, метод парабол.
9. Гибридный метод минимизации Брента.
10. Методы решения уравнения: метод деления отрезка пополам, метод секущей.

11. Минимизация функции с известной производной: кубическая аппроксимация и модифицированный метод Брента.
12. Поиск ограничивающего сегмента.
13. Условия Армихо-Голдштайна-Вольфа для неточного решения задачи одномерной оптимизации.
14. Неточные методы одномерной оптимизации.
15. Метод градиентного спуска: наискорейший спуск, спуск с неточной одномерной оптимизацией, зависимость от шкалы измерений признаков.
16. Метод Ньютона: схема метода, скорость сходимости, подбор длины шага, способы коррекции гессиана до положительно-определённой матрицы.
17. Метод сопряженных градиентов для оптимизации неквадратичных функций, стратегии рестарта, зависимость от точной одномерной оптимизации.
18. Неточный (безгессианный) метод Ньютона: схема метода, способы оценки произведения гессиана на вектор через вычисление градиента.
19. Применение неточного метода Ньютона для обучения линейного классификатора и нелинейной регрессии, аппроксимация Гаусса-Ньютона и адаптивная стратегия Levenberg-Marquardt.
20. Квазиньютоновские методы оптимизации: DFP, BFGS и L-BFGS.

Примерные задания контрольной работы

1. Реализовать метод Ньютона.
2. Найти минимум функции с помощью реализованного метода.

Вместо метода Ньютона может быть градиентный спуск, логистическая регрессия, сопряженные градиенты и прочее. Выполнимость условий нужно проверять с помощью функций модуля `scipy.optimize.linesearch`.

Для выполнения работы нужно написать код алгоритма, найти минимум для функции из задачи 2, построить график функции и отметить на ней минимум/область.

Критерии бальной оценки различных форм текущего контроля успеваемости содержится в соответствующих методических рекомендациях Департамента анализа данных и машинного обучения.

7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения в процессе освоения образовательной программы содержится в разделе **2. «Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине».**

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки индикаторов достижения компетенций, знаний и умений

Наименование компетенции	Наименование индикаторов достижения компетенции	Результаты обучения (умения и знания), соотнесенные с индикаторами достижения компетенции	Типовые контрольные задания
Способность применять методы и инструменты анализа данных и машинного обучения при подготовке аналитического обоснования финансово экономических решений (ПКП-5)	1. Осуществляет обоснованный выбор методов и инструментов обработки данных для решения экономических и финансовых задач.	<u>Знать</u> основные алгоритмы машинного обучения, используемые в задачах компьютерного зрения. <u>Уметь</u> применять алгоритмы машинного обучения в задачах компьютерного зрения.	Найдите метод обработки данных для решения поставленной задачи машинного обучения.
	2. Владеет навыками решения прикладных задач с использованием методов и инструментов анализа данных и машинного обучения.	<u>Знать</u> основные задачи информационных систем относительно компьютерного зрения. <u>Уметь</u> ставить задачи компьютерного зрения в комплексной информационной системе-	Подберите алгоритм машинного обучения для решения поставленной финансово-экономической задачи.
Способность ставить и решать	1. Владеет оптимизационным	<u>Знать</u> основные математические модели	Выберите метод решения поставленной

оптимизационные задачи в различных сферах экономики и финансов (ПКП-6)	и методами, демонстрирует знание принципов и особенностей выбора оптимизационных методов в зависимости от поставленной задачи.	решения оптимизационных задач в машинном обучении. Уметь ставить оптимизационные задачи в машинном обучении и решать их целесообразными оптимизационными методами для повышения быстродействия и качества обучения.	задачи оптимизации исходя из особенностей ее математической модели.
	2. Разрабатывает оптимизационные модели в области экономики и финансов.	Знать методику построения оптимизационных моделей Уметь выбрать подходящий тип модели на основе анализа исходных данных	Постройте математическую модель оптимизации параметров поставленной задачи исходя из финансово-экономических исходных данных и условий существования
	3. Решает оптимизационные задачи в различных сферах экономики и финансов	Знать методы решения оптимизационных задач Уметь применять методы решения задач на практике	Найдите оптимальные значения гиперпараметров алгоритма машинного обучения с помощью оптимизационных методов.

Примерные вопросы для подготовки к зачету

1. Постановка оптимизационной задачи.
2. Оптимизационные задачи в машинном обучении.
3. Классы функций в оптимизации.
4. Градиент и гессиан функции многих переменных, их свойства, необходимые и достаточные условия безусловного экстремума.
5. Матричные разложения, их использование для решения СЛАУ.
6. Структура итерационного процесса в оптимизации, понятие оракула, критерии останова.
7. Глобальная и локальная оптимизация, скорости сходимости итерационных процессов оптимизации.

8. Минимизация функции без производной: метод золотого сечения, метод парабол.
9. Гибридный метод минимизации Брента.
10. Методы решения уравнения: метод деления отрезка пополам, метод секущей.
11. Минимизация функции с известной производной: кубическая аппроксимация и модифицированный метод Брента.
12. Поиск ограничивающего сегмента.
13. Условия Армихо-Голдштайна-Вольфа для неточного решения задачи одномерной оптимизации.
14. Неточные методы одномерной оптимизации.
15. Метод градиентного спуска: наискорейший спуск, спуск с неточной одномерной оптимизацией, зависимость от шкалы измерений признаков.
16. Метод Ньютона: схема метода, скорость сходимости, подбор длины шага, способы коррекции гессиана до положительно-определённой матрицы.
17. Метод сопряженных градиентов для оптимизации неквадратичных функций, стратегии рестарта, зависимость от точной одномерной оптимизации.
18. Неточный (безгессианный) метод Ньютона: схема метода, способы оценки произведения гессиана на вектор через вычисление градиента.
19. Применение неточного метода Ньютона для обучения линейного классификатора и нелинейной регрессии, аппроксимация Гаусса-Ньютона и адаптивная стратегия Levenberg-Marquardt.
20. Квазиньютоновские методы оптимизации: DFP, BFGS и L-BFGS.
21. Вероятностная модель линейной регрессии с различными регуляризациями: квадратичной, L1, Стюдента.
22. Идея метода оптимизации, основанного на использовании глобальных оценок, сходимость метода.
23. Пример применения метода для обучения LASSO.
24. Построение глобальных оценок с помощью неравенства Йенсена, EM-алгоритм, его применение для вероятностных моделей линейной регрессии.

25. Построение оценок с помощью касательных и замены переменной.
26. Оценка Jaakkola-Jordan для логистической функции, оценки для распределений Лапласа и Стюдента.
27. Применение оценок для обучения вероятностных моделей линейной регрессии.
28. Необходимые и достаточные условия оптимальности в задачах условной оптимизации, условия Куна-Таккера и условия Джона, соотношение между ними.
29. Выпуклые задачи условной оптимизации, двойственная функция Лагранжа, двойственная задача оптимизации.
30. Решение задач условной оптимизации с линейными ограничениями вида равенство, метод Ньютона.
31. Прямо-двойственный метод Ньютона, неточный вариант метода.
32. Метод логарифмических барьерных функций.
33. Методы первой фазы.
34. Прямо-двойственный метод внутренней точки.
35. Использование методов внутренней точки для обучения SVM.
36. Модели линейной/логистической регрессии с регуляризациями L1 и L1/L2.
37. Понятие субградиента выпуклой функции, его связь с производной по направлению, необходимое и достаточное условие экстремума для выпуклых негладких задач безусловной оптимизации.
38. Метод наискорейшего субградиентного спуска.
39. Проксимальный метод.
40. Метод покоординатного спуска и блочной покоординатной оптимизации.
41. Понятие отделяющего оракула, базовый метод отсекающих плоскостей (cutting plane).
42. Надграфная форма метода отсекающих плоскостей.
43. Bundle-версия метода отсекающих плоскостей, зависимость от настраиваемых параметров.
44. Применение bundle-метода для задачи обучения SVM.

45. Добавление эффективной процедуры одномерного поиска.
46. Реализация метода с использованием параллельных вычислений и в условиях ограничений по памяти.
47. Общая постановка задачи стохастической оптимизации, пример использования.
48. Задачи минимизации среднего и эмпирического риска.
49. Метод стохастического градиентного спуска, две фазы итерационного процесса, использование усреднения и инерции.
50. Стохастический градиентный спуск как метод оптимизации и как метод обучения.
51. Метод SAG.
52. Применение стохастического градиентного спуска для SVM (алгоритм PEGASOS).
53. Метод имитации отжига.
54. Метод роения частиц.
55. Генетические алгоритмы.

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

основная:

1. Ростовцев, В.С. Искусственные нейронные сети : учебник / В. С. Ростовцев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 216 с. — ЭБС Лань. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/160142> (дата обращения: 22.03.2023). — Текст : электронный.
2. Данилов, В. В. Нейронные сети : учебное пособие / В. В. Данилов. — Донецк : ДонНУ, 2020. — 158 с. — ЭБС Лань. — URL: <https://e.lanbook.com/book/179953> (дата обращения: 22.03.2023). — Текст : электронный.

дополнительная:

3. Рашка, С. Python и машинное обучение: крайне необходимое пособие по новейшей предсказательной аналитике, обязательное для более глубокого понимания методологии машинного обучения: Практическое пособие / С. Рашка ; пер.с англ. А. В. Логунова. – Москва : ДМК Пресс, 2017. - 418 с. – ЭБС ZNANIUM.com. - URL: <http://new.znanium.com/go.php?id=1027758> (дата обращения: 22.03.2023). - Текст : электронный.
4. Коэльо, Л. Построение систем машинного обучения на языке Python : практическое пособие/Л. Коэльо, В. Ричарт ; пер. с англ. А. А. Слинкина. – Москва : ДМК Пресс, 2016. - 302 с. – ЭБС ZNANIUM.com. - URL: <http://new.znanium.com/go.php?id=1027824>(дата обращения: 22.03.2023). - Текст : электронный.

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

1. Информационно-образовательный портал Финансового университета при Правительстве Российской Федерации <http://portal.ufrf.ru/>
2. Сайт департамента анализа данных, принятия решений и финансовых технологий.
3. Российская ассоциация искусственного интеллекта <http://raai.org/>
5. Базы данных <https://www.kaggle.com/datasets>
6. Препринты <https://arxiv.org/>
7. Электронная библиотека Финансового университета (ЭБ) <http://elib.fa.ru>
8. Электронно-библиотечная система BOOK.RU <http://www.book.ru>

9. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека ОНЛАЙН» <http://biblioclub.ru/>
10. Электронно-библиотечная система Znanium <http://www.znanium.com>
11. «Деловая онлайн библиотека» издательства «Альпина Паблишер» <http://lib.alpinadigital.ru/en/library>
12. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» <https://e.lanbook.com/>
13. Электронно-библиотечная система издательства «ЮРАЙТ» <https://www.biblio-online.ru/>
14. Научная электронная библиотека eLibrary.ru <http://elibrary.ru>
15. Документация библиотеки машинного обучения <https://scikit-learn.org/stable/>
16. Ben-Tal A., Nemirovski A.. Optimization III. Lecture Notes / A. Ben-Tal, 2013 - 367p. https://www2.isye.gatech.edu/~nemirovs/OPTIII_LectureNotes2015.pdf
17. Boyd, L. Vandenberghe. Convex Optimization / S. Boyd, L. Vandenberghe ; Cambridge University Press, 2004 — 730p. - <https://web.stanford.edu/~boyd/cvxbook/>
18. Нестеров Ю.Е. Методы выпуклой оптимизации / Ю.Е. Нестеров ; М.: - «МИЦНМО», 2010 - <https://mipt.ru/dcam/upload/abb/nesterovfinal-arpgzk47dcy.pdf>

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа магистрантов проходит аудиторно и внеаудиторно. Организации самостоятельной работы служит учебно-тематический план изучения дисциплины. В этом плане указана тематика лекций, практических занятий, вопросы и задания для самостоятельного изучения.

Домашние задания следует выполнять регулярно при подготовке к практическим занятиям. Контроль выполнения домашних заданий осуществляется в ходе практических занятий в процессе выборочного собеседования.

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

11.1. Комплект лицензионного программного обеспечения:

Пакет офисных программ

Антивирус Kaspersky

11.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Информационно-правовая система «Консультант Плюс»;

Информационно правовая система «Гарант»;

Электронная энциклопедия: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Wiki>

Система комплексного раскрытия информации «СКРИН» -

<http://www.skrin.ru>

11.3. Сертифицированные программные и аппаратные средства защиты информации – не предусмотрены

11.4. Python 3.0, Jupyter Notebook

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

Наличие аудитории для проведения занятий. Для освоения дисциплины необходимо любое вычислительное средство – компьютер, смартфон или планшет. Предпочтительно использование компьютера. При этом возможно использование компьютеров компьютерных классах университета. Все изучаемые технологии доступны на личных устройствах студентов в любой точке, где доступна сеть Интернет.