

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

Уфимский филиал Финуниверситета

Кафедра «Математика и информатика»

СОГЛАСОВАНО

ООО „Эврика - Софт“  
(наименование организации)

Директор  
(должность представителя работодателя)

Григорьев С.Е. **ФИО**  
(подпись представителя работодателя)

« 1 » сентября



УТВЕРЖДАЮ

Директор Уфимского филиала  
Р.М. Сафуанов

« 2 » сентября 2021 г.

**ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ**

**Рабочая программа дисциплины**

для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
09.03.03 Прикладная информатика,  
образовательная программа «Прикладная информатика»,  
(ИТ-сервисы и технологии обработки данных в экономике и финансах)

Рекомендовано Ученым советом филиала  
(протокол № 39 от « 31 » августа 2021г.)

Одобрено кафедрой «Математика и информатика»  
(протокол № 16 от « 30 » июня 2021г.)

Уфа 2021

Составитель рабочей программы дисциплины «Оптимизационные задачи в машинном обучении» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика», образовательная программа: «Прикладная информатика» (ИТ-сервисы и технологии обработки данных в экономике и финансах), доцент кафедры «Математика и информатика» Уфимского филиала Финуниверситета, канд. техн. наук, доцент Исхаков З.Ф.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
1. Наименование дисциплины	4
2. Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине	4
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы	4
4. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах и в академических часах с выделением объема аудиторной (лекции, семинары) и самостоятельной работы обучающихся	5
5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) дисциплины с указанием их объемов (в академических часах) и видов учебных занятий	5
5.1. Содержание дисциплины	5
5.2. Учебно-тематический план	7
5.3. Содержание семинаров, практических занятий	8
6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	11
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	11
8. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	18
9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем	12
9.1. Комплект лицензионного программного обеспечения	12
9.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы	12
9.3. Сертифицированные программные и аппаратные средства защиты информации	12
10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине	12

## 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), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции
ПКП-4	Способность применять технологии моделирования и анализа процессов в сфере экономики и финансов	1. Демонстрирует знания в области теории и методологии моделирования и анализа в сфере экономики и финансов	<b>Знать:</b> основные алгоритмы машинного обучения, используемые в сфере экономики и финансов <b>Уметь:</b> применять алгоритмы машинного обучения в сфере экономики и финансов
		2. Строит математические модели в сфере экономики и финансов	<b>Знать:</b> основные принципы построения математических моделей, используемых в сфере экономики и финансов <b>Уметь:</b> строить математические модели в сфере экономики и финансов

## 3. Место дисциплины в структуре образовательных программ

Дисциплина относится к циклу профиля (элективный) (модуль «Технологии машинного обучения») образовательной программы «Прикладная информатика» (ИТ-сервисы и технологии обработки данных в экономике и финансах) по направлению подготовки 09.03.03 – Прикладная информатика.

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

Таблица 1

**Очная форма обучения**

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

**Заочная форма обучения**

<b>Вид учебной работы по дисциплине</b>	<b>Всего (в з/е и часах)</b>	<b>Семестр 7 (в часах)</b>
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>3/108</b>	<b>108</b>
<b>Контактная работа - Аудиторные занятия</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
<i>Лекции</i>	4	4
<i>Семинары, практические занятия</i>	8	8
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>96</b>	<b>96</b>
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**

**Тема 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.

## **Тема 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.

## **Тема 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.

## **Тема 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.

## **Тема 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.

### **Тема 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.

### **Тема 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.

### **Тема 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**

Таблица 2

Очная/заочная форма обучения

№ п/п	Наименование тем (разделов) дисциплины	Трудоёмкость в часах					Формы текущего контроля успеваемости
		Всего	Контактная работа – Аудиторная работа			Самостоятельная работа	
			Общая	Лекции	Семинары, практические занятия		
1.	Основные понятия и примеры задач	13/13	6/1	2/1	4/1	7/12	УО, ППЗ

2.	Методы одномерной оптимизации	13/13	6/1	2/1	4/1	7/12	
3.	Методы многомерной оптимизации	13/13	6/1	2/0	4/1	7/12	
4.	Методы оптимизации с использованием глобальных верхних оценок, зависящих от параметра	13/13	6/1	2/1	4/1	7/12	
5.	Методы внутренней точки	13/13	6/2	2/0	4/1	7/12	
6.	Разряженные методы машинного обучения	13/13	6/2	2/0	4/1	7/12	
7.	Методы отсекающих плоскостей	14/14	6/2	2/0	4/1	8/12	
8.	Стохастическая оптимизация	16/16	8/2	2/0	6/1	8/12	
	В целом по дисциплине	108/108	50/12	16/4	34/8	58/96	Согласно учебному плану: контрольная работа

\*Сокращения в таблице: УО – устный опрос; ППЗ – проверка практических заданий;

### 5.3. Содержание семинаров, практических занятий

Таблица 3

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	<p>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.</p> <p><b>Рекомендуемые источники из раздела 6: 6.1, 6.2. из раздела 7: 7.1-7.10.</b></p>	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений



Методы одномерной оптимизации	<p>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.</p> <p><b>Рекомендуемые источники</b> из раздела 6: 6.1, 6.2. из раздела 7: 7.1-7.10.</p>	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Методы многомерной оптимизации	<p>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 LBFGS.</p> <p><b>Рекомендуемые источники</b> из раздела 6: 6.1, 6.2. из раздела 7: 7.1-7.10.</p>	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Методы оптимизации с использованием глобальных верхних оценок, зависящих от параметра	<p>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. Применение оценок для обучения вероятностных моделей линейной регрессии.</p> <p><b>Рекомендуемые источники</b> из раздела 6: 6.1, 6.2. из раздела 7: 7.1-7.10.</p>	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений

Методы внутренней точки	<p>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.</p> <p><b>Рекомендуемые источники</b> из раздела 6: 6.1, 6.2. из раздела 7: 7.1-9.10.</p>	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Разряженные методы машинного обучения	<p>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.</p> <p><b>Рекомендуемые источники</b> из раздела 6: 6.1, 6.2. из раздела 7: 7.1-7.10.</p>	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Методы отсекающих плоскостей	<p>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.</p> <p><b>Рекомендуемые источники</b> из раздела 6: 6.1, 6.2. из раздела 7: 7.1-7.10.</p>	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений
Стохастическая оптимизация	<p>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. Генетические алгоритмы.</p> <p><b>Рекомендуемые источники</b> из раздела 6: 6.1, 6.2. из раздела 7: 7.1-7.10.</p>	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 человека) и коллективное обсуждение решений

## **6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **Основная литература**

1. Ростовцев, В. С. Искусственные нейронные сети : учебник для вузов / В. С. Ростовцев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 216 с.— URL: <https://e.lanbook.com/book/160142>

### **Дополнительная литература**

2. Пятаева, А. В. Интеллектуальные системы и технологии : учеб. пособие / А. В. Пятаева, К. В. Раевич. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. - 144 с. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1032131>

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Электронная библиотека Финансового университета (ЭБ) <http://elib.fa.ru/>
2. Электронно-библиотечная система BOOK.RU <http://www.book.ru>
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека ОНЛАЙН» <http://biblioclub.ru/>
4. Электронно-библиотечная система Znanium <http://www.znanium.com>
5. Электронно-библиотечная система издательства «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
6. Электронно-библиотечная система издательства Проспект <http://ebs.prospekt.org/books>
7. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» <https://e.lanbook.com/>
8. Электронная библиотека Издательского дома «Гребенников» <https://grebennikon.ru/>
9. Деловая онлайн-библиотека Alpina Digital <http://lib.alpinadigital.ru/>
10. Научная электронная библиотека eLibrary.ru <http://elibrary.ru>

## 8. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Наименование методических материалов для обучающихся	Год утверждения	Местонахождение материала (ссылка на ИОП, информационный стенд кафедры/филиала, др.)
Методические указания к лекциям	2021	<a href="http://www.fa.ru/fil/ufa/about/ums/Pages/info.aspx">http://www.fa.ru/fil/ufa/about/ums/Pages/info.aspx</a>
Методические указания к практическим занятиям	2021	<a href="http://www.fa.ru/fil/ufa/about/ums/Pages/info.aspx">http://www.fa.ru/fil/ufa/about/ums/Pages/info.aspx</a>
Методические указания самостоятельной работе	2021	<a href="http://www.fa.ru/fil/ufa/about/ums/Pages/info.aspx">http://www.fa.ru/fil/ufa/about/ums/Pages/info.aspx</a>
Методические указания к контрольной работе	2021	<a href="http://www.fa.ru/fil/ufa/about/ums/Pages/info.aspx">http://www.fa.ru/fil/ufa/about/ums/Pages/info.aspx</a>

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

### 9.1. Комплект лицензионного программного обеспечения:

Продукты компании Microsoft, включая ОС Windows и Office.

### 9.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Электронное периодическое издание Справочная Правовая Система Консультант Бюджетные организации: версия Проф.

### 9.3. Сертифицированные программные и аппаратные средства защиты информации

Сертифицированные программные и аппаратные средства защиты информации – не используются.

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

Учебная аудитория для проведения всех видов занятий, предусмотренных программой бакалавриата, оснащенная оборудованием и техническими средствами обучения.