



**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение
высшего образования
"Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики"**

Факультет Компьютерных наук
Департамент больших данных и информационного поиска
Базовая кафедра Яндекс

Рабочая программа дисциплины «Выпуклый анализ и оптимизация»

для образовательной программы «Науки о данных» направления подготовки
01.04.02 "Прикладная математика и информатика"
уровень магистра

Разработчик программы
Дорн Ю.В., yvdorn@hse.ru

Одобрена на заседании базовой кафедры Яндекс
«__»_____ 2017 г.

Заведующий Кафедрой
М.А. Бабенко _____

Утверждена Академическим советом образовательной программы
«__»_____ 2017 г., № протокола _____

Академический руководитель образовательной программы
С.О. Кузнецов _____

Москва, 2017

Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.



1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину «Выпуклый анализ и оптимизация», учебных ассистентов и студентов направления подготовки/специальности 01.04.02

«Прикладная математика и информатика», обучающихся по образовательной программе «Науки о данных».

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования

«Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»;

- Образовательной программой подготовки магистра по направлению 01.04.02

«Прикладная математика и информатика», специализации «Анализ Интернет-данных».

- Объединенным учебным планом университета по образовательной программе «Науки о данных», утвержденным в 2018 г.

2 Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является освоение базовых моделей и методов выпуклой оптимизации, в том числе для решения задач, включающих неопределенность.

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент осваивает компетенции:

Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Уровень формирования компетенции	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции	Форма контроля уровня сформированности компетенции
Способен вести исследовательскую деятельность, включая анализ проблем, постановку целей и задач, выделение объекта и предмета исследования, выбор способа и	УК-6	РБ	Умеет распознавать базовые закономерности в задачах непрерывной оптимизации, формулировать их в виде пригодном для решения стандартными методами выпуклой оптимизации.	Стандартные (лекционно-семинарские). Самостоятельные внеаудиторные занятия.	Итоговый экзамен



Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Уровень формирования компетенции	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции	Форма контроля уровня сформированности компетенции
методов исследования, а также оценку его качества					
Способен описывать проблемы и ситуации профессиональной деятельности, используя язык и аппарат математики	ПК-1	СД	Умеет формулировать математически и проводить анализ задач относящиеся к выпуклой оптимизации	Стандартные (лекционно-семинарские). Самостоятельные внеаудиторные занятия.	Итоговый экзамен
Способен писать, оформлять, отлаживать и оптимизировать программный код.	ПК-5	СД	Умеет реализовать алгоритмы поиска решений в задачах выпуклой оптимизации, выбирать наиболее оптимальные эвристики и подходящие инструменты.	Стандартные (лекционно-семинарские). Самостоятельные внеаудиторные занятия.	Итоговый экзамен
Способен разработать математическую модель и провести её анализ для поставленной теоретической или прикладной задачи	ПК-8	СД	Умеет формулировать задачи в виде задач выпуклой оптимизации. Умеет строить двойственные задачи и использовать их для решения исходной задачи.	Стандартные (лекционно-семинарские). Самостоятельные внеаудиторные занятия.	Итоговый экзамен
Способен разработать и реализовать в виде программного модуля алгоритм решения поставленной теоретической или прикладной задачи на основе математической модели	ПК-9	СД			



Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Уровень формирования компетенции	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции	Форма контроля уровня сформированности компетенции

Виды и задачи профессиональной деятельности:

Научно-исследовательские	
Исследование и разработка математических моделей и методов, алгоритмов и программного обеспечения по тематике проводимых научно-исследовательских проектов;	НИД-3
Проектные и производственно-технологические	
Разработка и исследование алгоритмов, вычислительных моделей и моделей данных для реализации элементов новых (или известных) систем информационных технологий	ПД-2
Разработка архитектуры, алгоритмических и программных решений системного и прикладного программного обеспечения	ПД-3
Разработка программного и информационного обеспечения компьютерных систем, автоматизированных систем вычислительных комплексов, сервисов, операционных систем и распределенных баз данных	ПД-4

4 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к профессиональному циклу, базовой части вариативного профиля.

5 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	Практические занятия	Другие виды работы ¹	
1	Выпуклые множества и выпуклые функции	24	2	4			18
2	Двойственность и условия оптимальности	26	2	4			20
3	Базовые методы оптимизации	24	2	4			18
4	Проксимальные методы и быстрые градиентные методы	26	2	4			20
5	Техника сглаживания	28	2	4			20

¹ Указать другие виды аудиторной работы студентов, если они применяются при изучении данной дисциплины.



6	ADMM	26	4	4			18
7	Робастная оптимизация	24	2	4			18
8	Стохастическая оптимизация	24	2	4			18
9	Онлайн оптимизация	24	2	4			18
10.	Покоординатные спуски	28	4	4			18
11.	Стохастические переформулировки для линейных систем	24	2	6			18
12.	BFGS	26	4	4			20
	Итого	304	30	50			224

6 Формы контроля знаний студентов

Тип контроля	Форма контроля	1 год		Параметры **
		1	2	
	Контрольное задание	*	*	Решение практических задач в учебной аудитории
	Домашнее задание	*		Решение сложных задач информационного поиска
Итоговый	Экзамен		*	Теоретический

7 Критерии оценки знаний, навыков

Для прохождения контроля студент должен продемонстрировать знание математического аппарата для решения задач выпуклой оптимизации, а также умение применять готовые инструменты для решения задач на практике.

Студент должен уверенно владеть следующим:

1. Уметь формулировать оптимизационные задачи в виде задач выпуклой оптимизации.
2. Строить двойственные задачи.
3. Выбирать эффективный метод для решения оптимизационной задачи.
4. Анализировать задачи, включающие неопределенность, и выбирать подходы для их решения (стохастическая оптимизация, робастная оптимизация, онлайн оптимизация)
5. Использовать рандомизацию для построения новых методов численного решения задач оптимизации без неопределенности (рандомизированные методы первого порядка).

8 Содержание дисциплины

1. Выпуклые множества и выпуклые функции.



2. Условия оптимальности первого порядка. Двойственность. Условия Каруша-Куна-Такера. Conic Duality.
3. Основные понятия оптимизации. Условия останова. Градиентный спуск. Субградиентный спуск.
4. Проксимальные методы и быстрые градиентные методы.
5. Техника сглаживания
6. Двойственный спуск и метод Пауэлла. ADMM. Switching Subgradient Method.
7. Робастная оптимизация
8. Стохастическая оптимизация. Работа с неопределённостью.
9. Онлайн оптимизация. Задача о многоруком бандите. Алгоритм взвешенного большинства. Приложения для игр с нулевой суммой.
10. Покоординатные спуски
11. Стохастические переформулировки для линейных систем
12. Метод BFGS и его сходимость.

9 Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента. Порядок формирования оценок по дисциплине

Контроль:

- Контрольное мероприятие с решением практических задач в учебной аудитории.
- Контрольное мероприятие с решением теоретических задач в учебной аудитории.
- Практическое домашнее задание на решение сложных задач выпуклой оптимизации как с использованием, так и без использования сторонних инструментов.
- Теоретический экзамен по программе курса.

Оценка за каждую из частей контроля выставляется исходя из 10 баллов, при этом количество баллов за контрольные работы и домашнюю работу может быть не целым. Итоговая оценка выставляется исходя из формулы:

$$O_{\text{итог}} = 0.5 O_{\text{накопленная}} + 0.5 O_{\text{экс}}$$

Способ округления накопленной оценки по учебной дисциплине: округление вверх.

Способ округления результирующей оценки по учебной дисциплине: арифметический.

10 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. S. Boyd & L. Vandenberghe "Convex Optimization"
2. Б.Т. Поляк "Введение в оптимизацию"
3. Ю.Е. Нестеров "Введение в выпуклую оптимизацию"
4. Ben-Tal, El Ghaoui, Nemirovski "Robust Optimization"
5. Ben-Tal & Nemirovski "Lectures on the Modern Convex Optimization"
6. S. Bubeck "Theory of Convex Optimization for Machine Learning"
7. Nocedal and Wright "Numerical Optimization"
8. Parikh and Boyd "Proximal algorithms"
9. Hazan "Introduction to Online Convex Optimization"

Дополнительная литература:

1. Shapiro & Dentcheva & Ruszczyński "LECTURES ON STOCHASTIC PROGRAMMING: MODELING AND THEORY"



2. Richtarik and Tukas "Stochastic Reformulations of Linear Systems: Algorithms and Convergence Theory"