

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
прикладной математики и
информатики**

А.М. Райгородский

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Оптимизация в анализе данных: дополнительные главы
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математических основ управления
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: Ф.С. Стонякин, д-р физ.-мат. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры математических основ управления 03.04.2024

Аннотация

Курс призван углубить знания студентов магистратуры в области методов оптимизации в пространствах больших размерностей, применимых ко многим популярным в приложениях типам задач современного анализа данных. Особый упор будет сделан на методы для вариационных неравенств, седловых задач, а также – теоретическим результатам о методах первого порядка для важнейших задач невыпуклой (глобальной) оптимизации. Методы первого порядка популярны в задачах анализа больших данных ввиду малой затратности итераций и отсутствия в оценках сложности параметров размерности пространства.

Первая часть курса посвящена систематизации знаний студентов в области теории сложности методов первого порядка для выпуклой оптимизации. В обзорном порядке будут рассмотрены оптимальные методы и нижние границы сложности для задач гладкой и негладкой выпуклой оптимизации. Также будут описаны вариации методов градиентного типа и оценки сложности для возникших несколько лет назад классов так называемых относительно гладких и относительно непрерывных (липшицевых) оптимизационных задач, примеры прикладных задач таких классов. К подобным проблемам можно отнести, в частности, задачи D-оптимального плана эксперимента и бинарной классификации методом опорных векторов (SVM). Имеются приложения в распределённой оптимизации.

Вторая часть курса посвящена методам первого порядка для вариационных неравенств и седловых задач. Будут рассмотрены понятие вариационного неравенства, результаты о разрешимости и примеры задач, сводящихся к вариационным неравенствам (задачи дополнителности, отыскание седловых точек с разными приложениями в игровых задачах, в том числе к обучению GAN). Далее будут описаны методы для вариационных неравенств: проекционный и экстраградиентный, проксимальный зеркальный метод и его адаптивный вариант, а также ускоренные методы для седловых задач.

Третья часть курса нацелена на изложение наиболее известных подходов и теоретических результатов о методах для задач невыпуклой оптимизации. Намечено детальное рассмотрение задач с аналогами выпуклости (квазивыпуклость, слабая выпуклость), а также сильной выпуклости (условие градиентного доминирования, квадратичного роста и их аналоги) и соответствующие примеры прикладных задач. Также будут представлены наиболее известные эвристические подходы (имитация отжига, генетические алгоритмы).

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление студентов с некоторыми типами оптимизационных задач, возникающих в современном анализе данных, вопросами теории адаптивных численных методов первого порядка для задач минимизации, вариационных неравенств, седловых задач, основами теории методов для задач невыпуклой оптимизации.

Задачи дисциплины

- приобретение слушателями теоретических знаний и практических умений и навыков в области адаптивных численных методов оптимизации;
- приобретение слушателями навыков владения аппаратом выпуклого анализа;
- освоение общего подхода к решению широкого класса прикладных оптимизационных задач, допускающих математическую формализацию;
- подготовка слушателей к изучению смежных математических дисциплин, связанных с анализом данных, машинным обучением, моделированием транспортных потоков, математической экономикой и теорией дифференциальных (динамических) игр;
- приобретение навыков в применении методов вариационного анализа в других естественнонаучных дисциплинах.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области информатики и	ОПК-3.4 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

вычислительной техники, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.5 Способен адаптировать зарубежные комплексы обработки информации и автоматизированного проектирования к нуждам отечественных предприятий
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности основные законы естествознания, современный математический аппарат и алгоритмы, современные информационно-коммуникационные технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности
	ПК-2.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий
	ПК-2.4 Владеет методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического поиска, опыт работы с научными источниками
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные подходы к решению задач выпуклой и невыпуклой оптимизации;
- понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть цикла;
- основные свойства соответствующих математических объектов;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач.

уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач выпуклой и невыпуклой оптимизации;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач;
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов выпуклой оптимизации;
- предметным языком и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение. Задачи нелинейной оптимизации: нижние оценки и оптимальные алгоритмы.	10			6
2	Адаптивные методы первого порядка для некоторых классов задач оптимизации.	5			6
3	Вариационные неравенства и седловые задачи. Условия разрешимости и примеры прикладных задач.	5			6
4	Методы первого порядка для вариационных неравенств и седловых задач.	5			6
5	Избранные подходы к задачам невыпуклой оптимизации.	5			6
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Введение. Задачи нелинейной оптимизации: нижние оценки и оптимальные алгоритмы.

Общая постановка задачи нелинейной оптимизации. Выпуклая и невыпуклая оптимизация. Примеры оптимизационных задач, возникающих в анализе данных: линейная и нелинейная регрессия и бинарная классификация. Нижние оценки аналитической сложности в пространствах больших размерностей (обзор): гладкие и негладкие задачи.

Градиентный метод: невыпуклые, выпуклые и сильно выпуклые задачи. Ускоренные методы для задач выпуклой и сильно выпуклой гладкой оптимизации. Метод тяжёлого шарика, быстрый градиентный метод. Техника рестартов. Оптимальные ускоренные методы гладкой выпуклой минимизации. Субградиентные методы для задач негладкой оптимизации (обзор).

2. Адаптивные методы первого порядка для некоторых классов задач оптимизации.

Адаптивный неускоренный градиентный метод: выпуклый и невыпуклый случай. Адаптивный метод подобных треугольников. Универсальные градиентные методы. Оценки скорости сходимости (обзор).

Адаптивные субградиентные методы для задач выпуклой минимизации общего вида. Шаг Б.Т. Поляка в субградиентном методе и его приложения в задачах регрессии, а также при отыскании общей точки системы множеств.

Относительная гладкость и относительная сильная выпуклость. Примеры прикладных задач: матричные уравнения, D-оптимальный план эксперимента. Адаптивный градиентный метод для относительно гладких оптимизационных задач. Обсуждение результатов экспериментов.

Задачи централизованной оптимизации в предположении схожести слагаемых: подход с использованием относительной гладкости и сильной выпуклости. Относительная непрерывность (липшицевость) в оптимизации. Примеры: геометрические задачи, а также задача бинарной классификации методом опорных векторов. Субградиентные методы для относительно липшицевых задач.

3. Вариационные неравенства и седловые задачи. Условия разрешимости и примеры прикладных задач.

Понятие вариационного неравенства. Результаты об условиях разрешимости вариационных неравенств. Примеры задач, приводящих к вариационным неравенствам. Задача отыскания седловой точки. Приложения: лагранжевы седловые задачи, матричные игры, задача совместного использования ресурсов, обучение генеративно-сопоставительных сетей (GAN).

4. Методы первого порядка для вариационных неравенств и седловых задач.

Нижние оценки сложности методов первого порядка для вариационных неравенств. Проекционный метод для вариационных неравенств, оценка скорости сходимости для сильно монотонных липшицевых операторов. Экстраградиентный метод и его сравнение с проекционным методом. Проксимальный зеркальный метод А.С. Немировского. Адаптивный и универсальный варианты проксимального зеркального метода А.С. Немировского для вариационных неравенств с монотонными операторами. Теоретические оценки скорости сходимости методов для монотонных операторов: случаи липшицева, ограниченного и относительно липшицева оператора. Методы для вариационных неравенств с сильно монотонными операторами. Анализ результатов некоторых вычислительных экспериментов. Градиентные методы с неточным оракулом. Ускоренные методы для сильно выпукло-вогнутых седловых задач. Стохастические методы первого порядка для вариационных неравенств и седловых задач.

5. Избранные подходы к задачам невыпуклой оптимизации.

Локальные и глобальные минимумы. Градиентный метод для гладких невыпуклых задач, оценка скорости сходимости с использованием нормы градиента. Проблема нахождения глобального минимума. Обобщения выпуклости, допускающие хорошие глобальные оценки скорости сходимости: квазивыпуклость, слабая выпуклость. Примеры квазивыпуклых и слабо выпуклых задач анализа данных. Субградиентные методы для квазивыпуклых задач (подход Ю.Е. Нестерова), оценки скорости сходимости. Субградиентные методы для слабо выпуклых задач с острым минимумом, теоретический результат о линейной скорости сходимости. Релаксации сильной выпуклости: условия градиентного доминирования и квадратичного роста, теоретический результат о линейной скорости сходимости. Пример: нелинейные системы. Задачи геометрического программирования. Эвристические алгоритмы невыпуклой оптимизации: метод имитации отжига и генетические алгоритмы.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в оптимизацию [Текст] / Б. Т. Поляк - М.ЛЕНАНД,2014
2. Введение в выпуклую оптимизацию [Текст], [монография]/Ю. Е. Нестеров , -М., МЦНМО, 2010

Дополнительная литература

1. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль . — Москва, ДМК Пресс, 2018.— URL: <https://e.lanbook.com/book/107901> (дата обращения: 29.01.2021). - Полный текст (Режим доступа : из сети МФТИ / Удаленный доступ)
2. Методы оптимизации [Текст]. Ч. 3 : Дополнительные главы / Жадан, В. Г. ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) - М.МФТИ,2017

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

www.optimization-online.org

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

Не требуется.

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

Студент, изучающий курс " Оптимизация в анализе данных: дополнительные главы ", должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы, методы доказательств.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

– чтение и конспектирование рекомендованной литературы,

– проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;

– подготовку к экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору или преподавателю, ведущему практические занятия.

Литература для самостоятельной работы:

1) Нестеров Ю. Е., Эффективные методы нелинейного программирования. М.: Радио и связь, 1989 – 301 с.

2) Davis, D. et al. Subgradient Methods for Sharp Weakly Convex Functions. // Journal Optim. Theory Appl. 2018. Vol. 179, P. 962 – 982.

3) Belkin M. Fit Without Fear: Remarkable Mathematical Phenomena of Deep Learning Through the Prism of Interpolation. // arXiv:2105.14368, 2021.

4) Karimi H., Nutini J., Schmidt M. Linear Convergence of Gradient and Proximal-Gradient Methods Under the Polyak-Lojasiewicz Condition. // Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham. 2016. Vol. 9851. P. 795 – 811.

5) S. Boyd et al. A tutorial on geometric programming. // Optim. Eng. (2007) 8: 67–127 DOI 10.1007/s11081-007-9001-7.

6) Lu H., Freund R.M., Nesterov Y. Relatively smooth convex optimization by first-order methods, and applications. // SIAM Journal on Optimization. 2018. Vol. 28, N 1. P. 333 -- 354.

7) Lu H.: Relative Continuity for Non-Lipschitz Nonsmooth Convex Optimization Using Stochastic (or Deterministic) Mirror Descent. // Informs Journal on Optimization. 2019. Vol. 1(4). P. 288 -- 303.

8) O. Devolder, F. Clineur, Yu. Nesterov. First-order methods of smooth convex optimization with inexact oracle. // Math. Prog. 2014.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математических основ управления
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	Ф.С. Стонякин, д-р физ.-мат. наук, доцент, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области информатики и вычислительной техники, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.4 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
	ОПК-3.5 Способен адаптировать зарубежные комплексы обработки информации и автоматизированного проектирования к нуждам отечественных предприятий
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности основные законы естествознания, современный математический аппарат и алгоритмы, современные информационно-коммуникационные технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности
	ПК-2.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий
	ПК-2.4 Владеет методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического поиска, опыт работы с научными источниками
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Оптимизация в анализе данных: дополнительные главы» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные подходы к решению задач выпуклой и невыпуклой оптимизации;
- понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть цикла;
- основные свойства соответствующих математических объектов;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач.

уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач выпуклой и невыпуклой оптимизации;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач;
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов выпуклой оптимизации;
- предметным языком и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль осуществляется на основе выполнения студентами совокупности домашних заданий и контрольных работ в соответствии с учебным планом. Данные о посещаемости и текущей успеваемости вносятся преподавателями в специальные журналы.

Текущий контроль на основе домашних заданий осуществляется в течении учебного семестра в сроки, установленные Учебным управлением, в соответствии с учебным планом.

Для сдачи задания студент обязан предоставить решение задачи домашнего задания в письменной форме, ответить на вопросы преподавателя и написать контрольную работу по заданию, по которой проверяются знание понятий и утверждений по темам сдаваемого задания и умению решать задачи.

Во время выполнения контрольной работы нельзя пользоваться помощью других лиц, вычислительной техники и мобильными телефонами.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена:

1. Примеры оптимизационных задач, возникающих в анализе данных: линейная и нелинейная регрессия и бинарная классификация.
2. Нижние оценки аналитической сложности в пространствах больших размерностей: гладкие и негладкие задачи.
3. Градиентный метод: невыпуклые, выпуклые и сильно выпуклые задачи. Ускоренные методы для задач выпуклой и сильно выпуклой гладкой оптимизации: метод тяжёлого шарика, быстрый градиентный метод.
4. Адаптивный неускоренный градиентный метод: выпуклый и невыпуклый случай. Оценки скорости сходимости.

5. Адаптивный метод подобных треугольников. Универсальные градиентные методы. Оценки скорости сходимости.
6. Шаг Б.Т. Поляка в субградиентном методе и его приложения в задачах регрессии, а также при отыскании общей точки системы множеств.
7. Относительная гладкость и относительная сильная выпуклость. Примеры прикладных задач: матричные уравнения, D-оптимальный план эксперимента.
8. Адаптивный градиентный метод для относительно гладких оптимизационных задач.
9. Задачи централизованной оптимизации в предположении схожести слагаемых: подход с использованием относительной гладкости и сильной выпуклости.
10. Относительная непрерывность (липшицевость) в оптимизации. Примеры: геометрические задачи, а также задача бинарной классификации методом опорных векторов. Субградиентные методы для относительно липшицевых задач.
11. Понятие вариационного неравенства. Результаты об условиях разрешимости вариационных неравенств. Примеры прикладных задач, приводящих к вариационным неравенствам.
12. Задача отыскания седловой точки. Приложения: лагранжевы седловые задачи, матричные игры, задача совместного использования ресурсов, обучение генеративно-состязательных сетей (GAN).
13. Нижние оценки сложности методов первого порядка для вариационных неравенств. Проекционный метод для вариационных неравенств, оценка скорости сходимости для сильно монотонных липшицевых операторов.
14. Экстраградиентный метод и его сравнение с проекционным методом. Проксимальный зеркальный метод А.С. Немировского. Адаптивный и универсальный варианты проксимального зеркального метода А.С. Немировского для вариационных неравенств с монотонными операторами.
15. Теоретические оценки скорости сходимости методов для монотонных операторов: случаи липшицева, ограниченного и относительно липшицева оператора.
16. Методы для вариационных неравенств с сильно монотонными операторами. 17. Градиентные методы с неточным оракулом. Ускоренные методы для сильно выпукло-вогнутых седловых задач.
18. Стохастические методы первого порядка для вариационных неравенств и седловых задач.
19. Локальные и глобальные минимумы. Градиентный метод для гладких невыпуклых задач, оценка скорости сходимости с использованием нормы градиента.
20. Обобщения выпуклости, допускающие хорошие глобальные оценки скорости сходимости: квазивыпуклость, слабая выпуклость. Примеры квазивыпуклых и слабо выпуклых задач анализа данных.
21. Субградиентные методы для квазивыпуклых задач (подход Ю.Е. Нестерова), оценки скорости сходимости.
22. Субградиентные методы для слабо выпуклых задач с острым минимумом, теоретический результат о линейной скорости сходимости.
23. Релаксации сильной выпуклости: условия градиентного доминирования и квадратичного роста, теоретический результат о линейной скорости сходимости. Пример: нелинейные системы.
24. Задачи геометрического программирования.
25. Эвристические алгоритмы невыпуклой оптимизации: метод имитации отжига и генетические алгоритмы.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Градиентный метод: невыпуклые, выпуклые и сильно выпуклые задачи. Ускоренные методы для задач выпуклой и сильно выпуклой гладкой оптимизации: метод тяжёлого шарика, быстрый градиентный метод.
2. Нижние оценки сложности методов первого порядка для вариационных неравенств. Проекционный метод для вариационных неравенств, оценка скорости сходимости для сильно монотонных липшицевых операторов.

Билет 2.

1. Обобщения выпуклости, допускающие хорошие глобальные оценки скорости сходимости: квазивыпуклость, слабая выпуклость. Примеры квазивыпуклых и слабо выпуклых задач анализа данных.
2. Задача отыскания седловой точки. Приложения: лагранжевы седловые задачи, матричные игры, задача совместного использования ресурсов, обучение генеративно-состязательных сетей (GAN).

Критерии оценивания

- оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;
- оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;
- оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений;
- оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал, и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач;
- оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает формулировок основных понятий дисциплины.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.