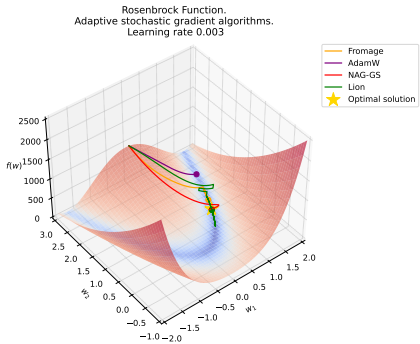
Методы выпуклой оптимизации. Поток 2. Правила курса

Даня Меркулов

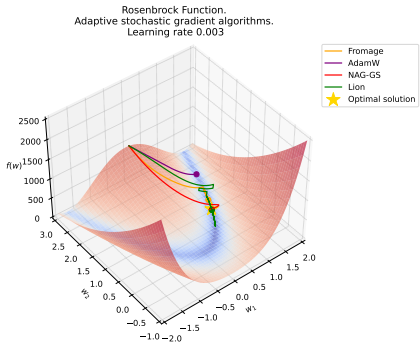
ЦУ

Общая информация о курсе



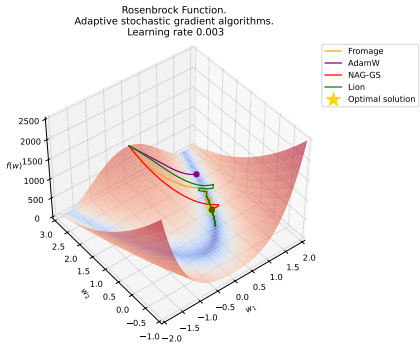
- Лектор - Меркулов Даниил Максимович (Сколтех, AI4Science Сбер, МФТИ, ФКН ВШЭ)

Общая информация о курсе



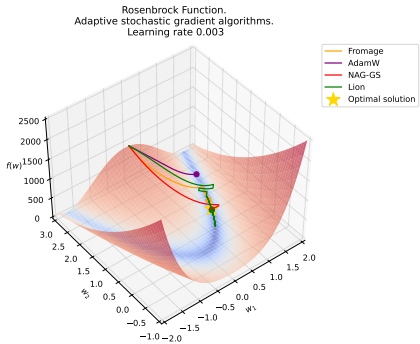
- Лектор - Меркулов Даниил Максимович (Сколтех, AI4Science Сбер, МФТИ, ФКН ВШЭ)
- Семинарист - Денис Рубцов (МФТИ, Сколтех)

Общая информация о курсе



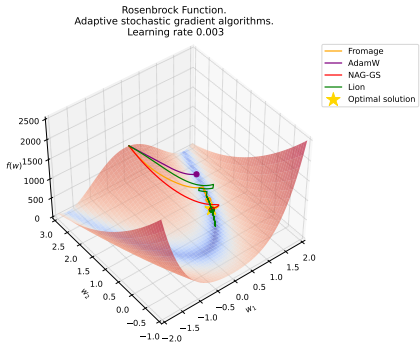
- Лектор - Меркулов Даниил Максимович (Сколтех, AI4Science Сбер, МФТИ, ФКН ВШЭ)
- Семинарист - Денис Рубцов (МФТИ, Сколтех)
- Курс для студентов 2 курса ЦУ. 1 лекция + 1 семинар в неделю

Общая информация о курсе



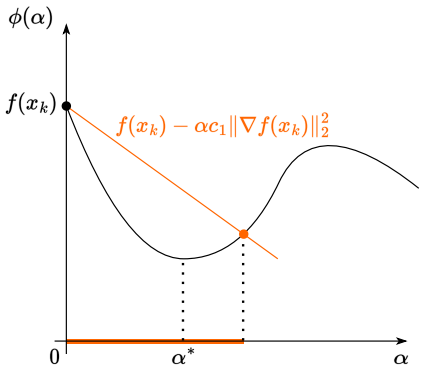
- Лектор - Меркулов Даниил Максимович (Сколтех, AI4Science Сбер, МФТИ, ФКН ВШЭ)
- Семинарист - Денис Рубцов (МФТИ, Сколтех)
- Курс для студентов 2 курса ЦУ. 1 лекция + 1 семинар в неделю
- Старт учебной недели - 8 сентября. Длительность 15 недель

Общая информация о курсе



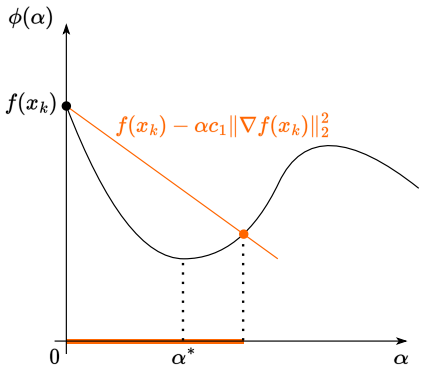
- Лектор - Меркулов Даниил Максимович (Сколтех, AI4Science Сбер, МФТИ, ФКН ВШЭ)
- Семинарист - Денис Рубцов (МФТИ, Сколтех)
- Курс для студентов 2 курса ЦУ. 1 лекция + 1 семинар в неделю
- Старт учебной недели - 8 сентября. Длительность 15 недель
- Курс охватывает темы выпуклой, невыпуклой, непрерывной оптимизации, особенно мотивированные задачами и приложениями в машинном обучении. Рассматриваются разные темы - от фундаментальных материалов до недавних исследований

База 1



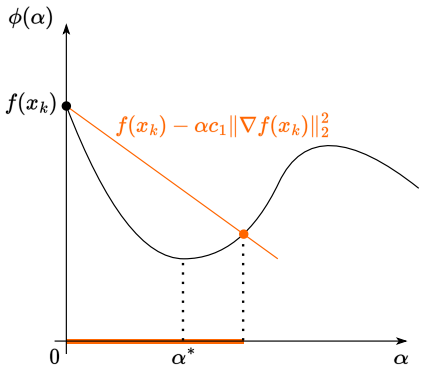
- Вспоминаем линейную алгебру. Скорость сходимости последовательностей / Матричные вычисления, нормы, LoRA, анализ сходимости с помощью тестов корней и отношений

База 1



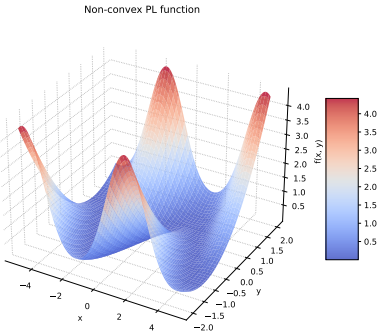
- Вспоминаем линейную алгебру. Скорость сходимости последовательностей / Матричные вычисления, нормы, LoRA, анализ сходимости с помощью тестов корней и отношений
- Одномерная оптимизация. Неточная одномерная оптимизация. Градиент. Гессиан. Матрично-векторное дифференцирование.

База 1



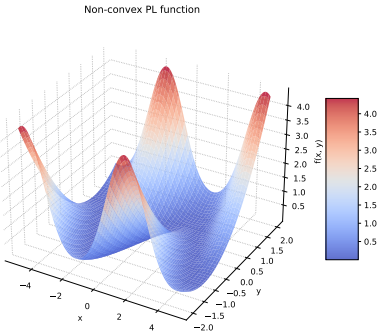
- Вспоминаем линейную алгебру. Скорость сходимости последовательностей / Матричные вычисления, нормы, LoRA, анализ сходимости с помощью тестов корней и отношений
- Одномерная оптимизация. Неточная одномерная оптимизация. Градиент. Гессиан. Матрично-векторное дифференцирование.
- Автоматическое дифференцирование. Вычислительный граф.

База 2



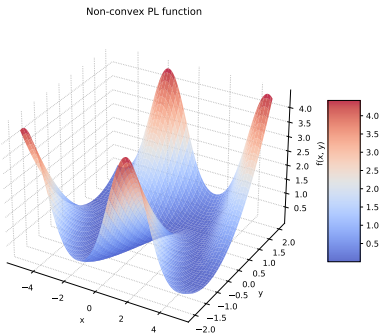
- Выпуклость. Выпуклые множества. Выпуклые функции. Неравенство Йенсена. Сильно выпуклые функции. Условие Поляка - Лоясиевича. Минимумы линейных нейронных сетей.

База 2



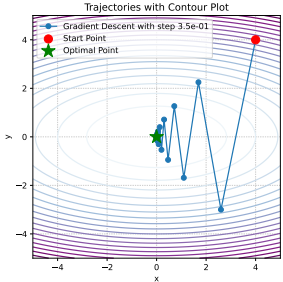
- Выпуклость. Выпуклые множества. Выпуклые функции. Неравенство Йенсена. Сильно выпуклые функции. Условие Поляка - Лоясиевича. Минимумы линейных нейронных сетей.
- Условия оптимальности. Функция Лагранжа. Задачи с ограничениями-равенствами. Задачи с ограничениями-неравенствами. Теорема Каруша - Куна - Таккера.

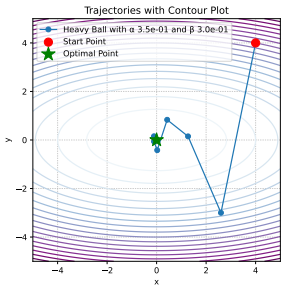
База 2



- Выпуклость. Выпуклые множества. Выпуклые функции. Неравенство Йенсена. Сильно выпуклые функции. Условие Поляка - Лоясиевича. Минимумы линейных нейронных сетей.
- Условия оптимальности. Функция Лагранжа. Задачи с ограничениями-равенствами. Задачи с ограничениями-неравенствами. Теорема Каруша - Куна - Таккера.
- Линейное программирование, симплекс метод / Производственное планирование, транспортная задача

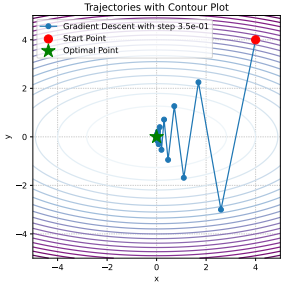
Золотая классика численных методов оптимизации

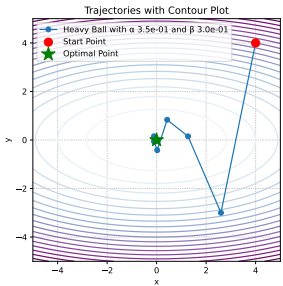




- Градиентный спуск и анализ сходимости / Стратегии выбора шага, PL-условие

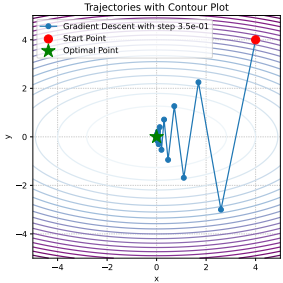
Золотая классика численных методов оптимизации

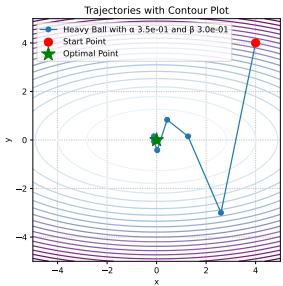




- Градиентный спуск и анализ сходимости / Стратегии выбора шага, PL-условие
- Ускоренные градиентные методы

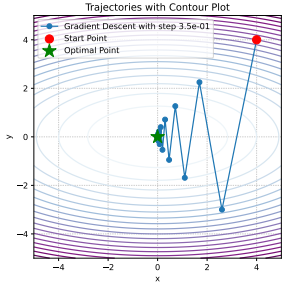
Золотая классика численных методов оптимизации

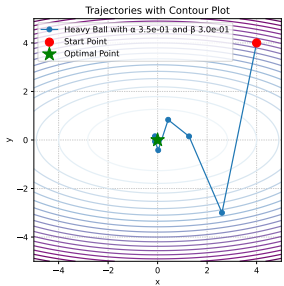




- Градиентный спуск и анализ сходимости / Стратегии выбора шага, PL-условие
- Ускоренные градиентные методы
- Метод сопряжённых градиентов для линейной системы, нелинейный CG

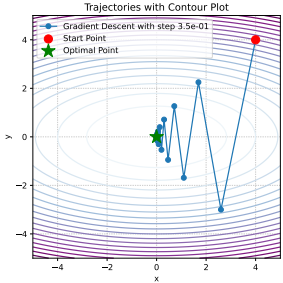
Золотая классика численных методов оптимизации

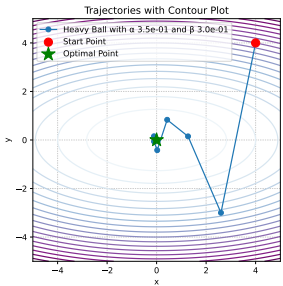




- Градиентный спуск и анализ сходимости / Стратегии выбора шага, PL-условие
- Ускоренные градиентные методы
- Метод сопряжённых градиентов для линейной системы, нелинейный CG
- Метод Ньютона и квази-Ньютон, BFGS, L-BFGS

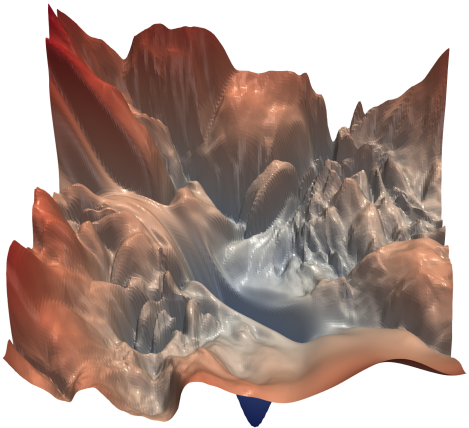
Золотая классика численных методов оптимизации





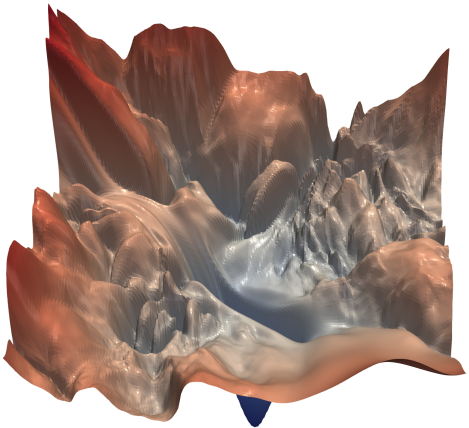
- Градиентный спуск и анализ сходимости / Стратегии выбора шага, PL-условие
- Ускоренные градиентные методы
- Метод сопряжённых градиентов для линейной системы, нелинейный CG
- Метод Ньютона и квази-Ньютон, BFGS, L-BFGS
- Градиентные методы для условных задач

Продвинутые методы и современные задачи ML



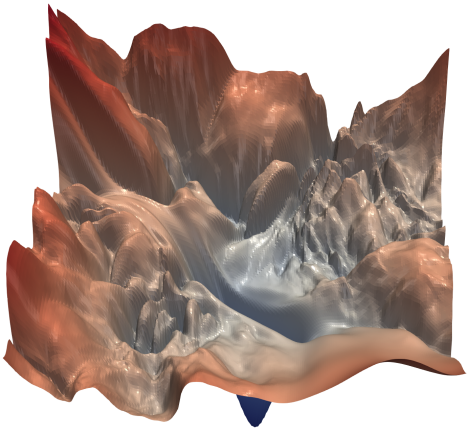
- Методы оптимизации для негладких задач

Продвинутые методы и современные задачи ML



- Методы оптимизации для негладких задач
- Методы минимизации конечной суммы для задач ML (SGD)

Продвинутые методы и современные задачи ML



- Методы оптимизации для негладких задач
- Методы минимизации конечной суммы для задач ML (SGD)
- Современные методы оптимизации для задач обучения нейронных сетей

Оценивание

Оценка за курс вычисляется по следующей формуле:

$$\text{grade} = \text{round}\left(\min\left(10, \begin{bmatrix}0.40\\0.25\\0.10\\0.35\end{bmatrix}^T \begin{bmatrix}\text{Контрольные работы}\\\text{Домашние задания}\\\text{Тесты на семинарах}\\\text{Экзамен}\end{bmatrix}\right)\right)$$

- **Контрольные работы (40%)** - письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время.

Оценивание

Оценка за курс вычисляется по следующей формуле:

$$\text{grade} = \text{round}\left(\min\left(10, \begin{bmatrix}0.40\\0.25\\0.10\\0.35\end{bmatrix}^T \begin{bmatrix}\text{Контрольные работы}\\\text{Домашние задания}\\\text{Тесты на семинарах}\\\text{Экзамен}\end{bmatrix}\right)\right)$$

- **Контрольные работы (40%)** - письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время.
- **Домашние задания (25%)** - задачи по темам недели для самостоятельного решения.

Оценивание

Оценка за курс вычисляется по следующей формуле:

$$\text{grade} = \text{round}\left(\min\left(10, \begin{bmatrix}0.40\\0.25\\0.10\\0.35\end{bmatrix}^T \begin{bmatrix}\text{Контрольные работы}\\\text{Домашние задания}\\\text{Тесты на семинарах}\\\text{Экзамен}\end{bmatrix}\right)\right)$$

- **Контрольные работы (40%)** - письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время.
- **Домашние задания (25%)** - задачи по темам недели для самостоятельного решения.
- **Тесты на семинарах (10%)** - набор задач по темам недели для решения на семинарах

Оценивание

Оценка за курс вычисляется по следующей формуле:

$$\text{grade} = \text{round}\left(\min\left(10, \begin{bmatrix}0.40\\0.25\\0.10\\0.35\end{bmatrix}^T \begin{bmatrix}\text{Контрольные работы}\\\text{Домашние задания}\\\text{Тесты на семинарах}\\\text{Экзамен}\end{bmatrix}\right)\right)$$

- **Контрольные работы (40%)** - письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время.
- **Домашние задания (25%)** - задачи по темам недели для самостоятельного решения.
- **Тесты на семинарах (10%)** - набор задач по темам недели для решения на семинарах
- **Экзамен (35%)** - устный экзамен по материалам курса

Оценивание

Оценка за курс вычисляется по следующей формуле:

$$\text{grade} = \text{round}\left(\min\left(10, \begin{bmatrix}0.40\\0.25\\0.10\\0.35\end{bmatrix}^T \begin{bmatrix}\text{Контрольные работы}\\\text{Домашние задания}\\\text{Тесты на семинарах}\\\text{Экзамен}\end{bmatrix}\right)\right)$$

- **Контрольные работы (40%)** - письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время.
- **Домашние задания (25%)** - задачи по темам недели для самостоятельного решения.
- **Тесты на семинарах (10%)** - набор задач по темам недели для решения на семинарах
- **Экзамен (35%)** - устный экзамен по материалам курса
- Первые две недели курса домашние задания и тесты будут выдаваться, но **не будут учитываться в оценке**, поскольку в этот период можно перейти с одного потока на другой

Оценивание

Оценка за курс вычисляется по следующей формуле:

$$\text{grade} = \text{round}\left(\min\left(10, \begin{bmatrix}0.40\\0.25\\0.10\\0.35\end{bmatrix}^T \begin{bmatrix}\text{Контрольные работы}\\\text{Домашние задания}\\\text{Тесты на семинарах}\\\text{Экзамен}\end{bmatrix}\right)\right)$$

- **Контрольные работы (40%)** - письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время.
- **Домашние задания (25%)** - задачи по темам недели для самостоятельного решения.
- **Тесты на семинарах (10%)** - набор задач по темам недели для решения на семинарах
- **Экзамен (35%)** - устный экзамен по материалам курса
- Первые две недели курса домашние задания и тесты будут выдаваться, но **не будут учитываться в оценке**, поскольку в этот период можно перейти с одного потока на другой
- Все компоненты оцениваются от 0 до 10

Оценивание

Оценка за курс вычисляется по следующей формуле:

$$\text{grade} = \text{round}\left(\min\left(10, \begin{bmatrix}0.40\\0.25\\0.10\\0.35\end{bmatrix}^T \begin{bmatrix}\text{Контрольные работы}\\\text{Домашние задания}\\\text{Тесты на семинарах}\\\text{Экзамен}\end{bmatrix}\right)\right)$$

- **Контрольные работы (40%)** - письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время.
- **Домашние задания (25%)** - задачи по темам недели для самостоятельного решения.
- **Тесты на семинарах (10%)** - набор задач по темам недели для решения на семинарах
- **Экзамен (35%)** - устный экзамен по материалам курса
- Первые две недели курса домашние задания и тесты будут выдаваться, но **не будут учитываться в оценке**, поскольку в этот период можно перейти с одного потока на другой
- Все компоненты оцениваются от 0 до 10

Оценивание

Оценка за курс вычисляется по следующей формуле:

$$\text{grade} = \text{round}\left(\min\left(10, \begin{bmatrix}0.40\\0.25\\0.10\\0.35\end{bmatrix}^T \begin{bmatrix}\text{Контрольные работы}\\\text{Домашние задания}\\\text{Тесты на семинарах}\\\text{Экзамен}\end{bmatrix}\right)\right)$$

- **Контрольные работы (40%)** - письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время.
- **Домашние задания (25%)** - задачи по темам недели для самостоятельного решения.
- **Тесты на семинарах (10%)** - набор задач по темам недели для решения на семинарах
- **Экзамен (35%)** - устный экзамен по материалам курса
- Первые две недели курса домашние задания и тесты будут выдаваться, но **не будут учитываться в оценке**, поскольку в этот период можно перейти с одного потока на другой
- Все компоненты оцениваются от 0 до 10

Контрольные работы	Домашние задания	Тесты на семинарах	Экзамен
40%	25%	10%	35%

Контрольные работы

- Две контрольные работы за семестр (ориентировочно на 7 и 12 неделях, но точные даты будут объявлены позднее)

Контрольные работы

- Две контрольные работы за семестр (ориентировочно на 7 и 12 неделях, но точные даты будут объявлены позднее)
- Письменные работы с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время

Контрольные работы

- Две контрольные работы за семестр (ориентировочно на 7 и 12 неделях, но точные даты будут объявлены позднее)
- Письменные работы с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время
- Задачи похожи на домашние задания, вплоть до того, что каждая контрольная содержит хотя бы одну задачу из домашнего задания

Контрольные работы

- Две контрольные работы за семестр (ориентировочно на 7 и 12 неделях, но точные даты будут объявлены позднее)
- Письменные работы с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время
- Задачи похожи на домашние задания, вплоть до того, что каждая контрольная содержит хотя бы одну задачу из домашнего задания
- Контрольные работы проводятся в очном формате, длительность - 1 пара

Контрольные работы

- Две контрольные работы за семестр (ориентировочно на 7 и 12 неделях, но точные даты будут объявлены позднее)
- Письменные работы с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время
- Задачи похожи на домашние задания, вплоть до того, что каждая контрольная содержит хотя бы одну задачу из домашнего задания
- Контрольные работы проводятся в очном формате, длительность - 1 пара
- На контрольных работах можно будет пользоваться рукописной (написанной вами от руки на бумаге) шпаргалкой размера одна страница A4

Домашние задания

- Выкладываются и сдаются в LMS

Домашние задания

- Выкладываются и сдаются в LMS
- Есть практические и теоретические задания

Домашние задания

- Выкладываются и сдаются в LMS
- Есть практические и теоретические задания
- Дедлайны - жесткие. Убедитесь, что вы не отправляете задание в последние минуты

Домашние задания

- Выкладываются и сдаются в LMS
- Есть практические и теоретические задания
- Дедлайны - жесткие. Убедитесь, что вы не отправляете задание в последние минуты
- При оформлении решений следует использовать машинописный формат сдачи (`quarto`, `markdown`, `latex`, `typst`).

  Вы можете оформлять теоретические задачи красивым понятным почерком (на планшете или на бумаге с качественным сканированием). Обратите внимание, что если сданный материал низкого качества или не читается, то ассистенты не смогут проверить его

Домашние задания

- Выкладываются и сдаются в LMS
- Есть практические и теоретические задания
- Дедлайны - жесткие. Убедитесь, что вы не отправляете задание в последние минуты
- При оформлении решений следует использовать машинописный формат сдачи (`quarto`, `markdown`, `latex`, `typst`).

  Вы можете оформлять теоретические задачи красивым понятным почерком (на планшете или на бумаге с качественным сканированием). Обратите внимание, что если сданный материал низкого качества или не читается, то ассистенты не смогут проверить его
- Домашние задания выдаются по темам лекции в понедельник. Дедлайн сдачи на каждой неделе - в ближайшее воскресенье в 22:00 по Московскому времени

Домашние задания

- Выкладываются и сдаются в LMS
- Есть практические и теоретические задания
- Дедлайны - жесткие. Убедитесь, что вы не отправляете задание в последние минуты
- При оформлении решений следует использовать машинописный формат сдачи (`quarto`, `markdown`, `latex`, `typst`).

  Вы можете оформлять теоретические задачи красивым понятным почерком (на планшете или на бумаге с качественным сканированием). Обратите внимание, что если сданный материал низкого качества или не читается, то ассистенты не смогут проверить его
- Домашние задания выдаются по темам лекции в понедельник. Дедлайн сдачи на каждой неделе - в ближайшее воскресенье в 22:00 по Московскому времени
- Если математическая часть решения полностью машинописная и не содержит картинок, студент сдаёт только `.ipynb` (ссылки на Google Colab не допускаются вместо файлов, следует прислать именно файл в формате `.ipynb`)

Домашние задания

- Выкладываются и сдаются в LMS
- Есть практические и теоретические задания
- Дедлайны - жесткие. Убедитесь, что вы не отправляете задание в последние минуты
- При оформлении решений следует использовать машинописный формат сдачи (`quarto`, `markdown`, `latex`, `typst`).

  Вы можете оформлять теоретические задачи красивым понятным почерком (на планшете или на бумаге с качественным сканированием). Обратите внимание, что если сданный материал низкого качества или не читается, то ассистенты не смогут проверить его
- Домашние задания выдаются по темам лекции в понедельник. Дедлайн сдачи на каждой неделе - в ближайшее воскресенье в 22:00 по Московскому времени
- Если математическая часть решения полностью машинописная и не содержит картинок, студент сдаёт только `.ipynb` (ссылки на Google Colab не допускаются вместо файлов, следует прислать именно файл в формате `.ipynb`)
- Если в работе есть картинки или рукописные вставки, нужно сдать `.ipynb` и тот же ноутбук, экспортированный в `.pdf`.

Тесты на семинарах

- В начале семинара проводится тест на 10-15 минут по материалам предыдущей недели

Тесты на семинарах

- В начале семинара проводится тест на 10-15 минут по материалам предыдущей недели
- При решении тестовых задач нельзя пользоваться никакими источниками и средствами, кроме своей головы

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)
- Оценка за экзамен складывается из 4 частей

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)
- Оценка за экзамен складывается из 4 частей
  - Вопросы по формулировкам - 3 балла

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)
- Оценка за экзамен складывается из 4 частей
  - Вопросы по формулировкам - 3 балла
  - Теорема с доказательством - 2 балла

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)
- Оценка за экзамен складывается из 4 частей
  - Вопросы по формулировкам - 3 балла
  - Теорема с доказательством - 2 балла
  - Решение задачи - 3 балла

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)
- Оценка за экзамен складывается из 4 частей
  - Вопросы по формулировкам - 3 балла
  - Теорема с доказательством - 2 балла
  - Решение задачи - 3 балла
  - Дополнительный вопрос - 2 балла

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)
- Оценка за экзамен складывается из 4 частей
  - Вопросы по формулировкам - 3 балла
  - Теорема с доказательством - 2 балла
  - Решение задачи - 3 балла
  - Дополнительный вопрос - 2 балла
- Сначала выдаются 6 случайных определения/формулировки из списка. При правильном ответе хотя бы на 3 из 6 определений/формулировок экзамен продолжается дальше, и вы получаете $x - 3$ баллов, где x - число верно отвеченных вопросов. В противном случае за экзамен выставляется 0 баллов.

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)
- Оценка за экзамен складывается из 4 частей
  - Вопросы по формулировкам - 3 балла
  - Теорема с доказательством - 2 балла
  - Решение задачи - 3 балла
  - Дополнительный вопрос - 2 балла
- Сначала выдаются 6 случайных определения/формулировки из списка. При правильном ответе хотя бы на 3 из 6 определений/формулировок экзамен продолжается дальше, и вы получаете $x - 3$ баллов, где x - число верно отвеченных вопросов. В противном случае за экзамен выставляется 0 баллов.
- При успешной сдаче определений вам выдается билет, содержащий теоретический вопрос на доказательство, а также задачу. Теоретический вопрос на доказательства будет по теоремам из списка. Для подготовки к задачам советуем повторить домашние задания, а также задачи с семинаров. В процессе беседы по предыдущим пунктам экзаменатор может задавать уточняющие вопросы.

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)
- Оценка за экзамен складывается из 4 частей
  - Вопросы по формулировкам - 3 балла
  - Теорема с доказательством - 2 балла
  - Решение задачи - 3 балла
  - Дополнительный вопрос - 2 балла
- Сначала выдаются 6 случайных определения/формулировки из списка. При правильном ответе хотя бы на 3 из 6 определений/формулировок экзамен продолжается дальше, и вы получаете $x - 3$ баллов, где x - число верно отвеченных вопросов. В противном случае за экзамен выставляется 0 баллов.
- При успешной сдаче определений вам выдается билет, содержащий теоретический вопрос на доказательство, а также задачу. Теоретический вопрос на доказательства будет по теоремам из списка. Для подготовки к задачам советуем повторить домашние задания, а также задачи с семинаров. В процессе беседы по предыдущим пунктам экзаменатор может задавать уточняющие вопросы.
- После ответа на предыдущие этапы экзаменатор задает дополнительный вопрос, например, задачу или вопрос, связанный с теорией. Ответ на дополнительный вопрос оценивается в 2 балла.

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)
- Оценка за экзамен складывается из 4 частей
  - Вопросы по формулировкам - 3 балла
  - Теорема с доказательством - 2 балла
  - Решение задачи - 3 балла
  - Дополнительный вопрос - 2 балла
- Сначала выдаются 6 случайных определения/формулировки из списка. При правильном ответе хотя бы на 3 из 6 определений/формулировок экзамен продолжается дальше, и вы получаете $x - 3$ баллов, где x - число верно отвеченных вопросов. В противном случае за экзамен выставляется 0 баллов.
- При успешной сдаче определений вам выдается билет, содержащий теоретический вопрос на доказательство, а также задачу. Теоретический вопрос на доказательства будет по теоремам из списка. Для подготовки к задачам советуем повторить домашние задания, а также задачи с семинаров. В процессе беседы по предыдущим пунктам экзаменатор может задавать уточняющие вопросы.
- После ответа на предыдущие этапы экзаменатор задает дополнительный вопрос, например, задачу или вопрос, связанный с теорией. Ответ на дополнительный вопрос оценивается в 2 балла.
- Если во время экзамена человек не может написать формулировку неравенства Йенсена для выпуклой функции, условия локального экстремума для задачи безусловной оптимизации, метод градиентного спуска, метод Ньютона, метод тяжелого шарика, что такое батч и эпоха, за экзамен ставится 0.

Экзамен

- Пройдёт в конце семестра (точная дата будет объявлена позднее)
- Оценка за экзамен складывается из 4 частей
  - Вопросы по формулировкам - 3 балла
  - Теорема с доказательством - 2 балла
  - Решение задачи - 3 балла
  - Дополнительный вопрос - 2 балла
- Сначала выдаются 6 случайных определения/формулировки из списка. При правильном ответе хотя бы на 3 из 6 определений/формулировок экзамен продолжается дальше, и вы получаете $x - 3$ баллов, где x - число верно отвеченных вопросов. В противном случае за экзамен выставляется 0 баллов.
- При успешной сдаче определений вам выдается билет, содержащий теоретический вопрос на доказательство, а также задачу. Теоретический вопрос на доказательства будет по теоремам из списка. Для подготовки к задачам советуем повторить домашние задания, а также задачи с семинаров. В процессе беседы по предыдущим пунктам экзаменатор может задавать уточняющие вопросы.
- После ответа на предыдущие этапы экзаменатор задает дополнительный вопрос, например, задачу или вопрос, связанный с теорией. Ответ на дополнительный вопрос оценивается в 2 балла.
- Если во время экзамена человек не может написать формулировку неравенства Йенсена для выпуклой функции, условия локального экстремума для задачи безусловной оптимизации, метод градиентного спуска, метод Ньютона, метод тяжелого шарика, что такое батч и эпоха, за экзамен ставится 0.
- Экзамен блокирующий

Материалы

- Открытый сайт с материалами курса cu25.fmin.xyz
- Boyd S. P., Vandenberghe L. Convex optimization. – Cambridge university press, 2004.
- Nocedal J., Wright S. J. (ed.). Numerical optimization. – New York, NY : Springer New York, 1999.
- Nesterov Y. et al. Lectures on convex optimization. – Berlin : Springer, 2018. – Т. 137. – С. 576.
- Жадан В. Г. Методы оптимизации. Части 1, 2, 3 //М.: МФТИ. – 2014.