

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 13.05.2024 10:49:58  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad4b35108

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственной университет»

Утверждаю:  
Руководитель ООП  
 /С.М.Дудаков/  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И КИБЕРПЕДАГИИ  
«01» *сентября* 2024 года  
Тверской государственной университет

**Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)**

## **ОСНОВЫ НЕЙРОСЕТЕЙ**

Направление подготовки  
02.03.02 ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ИНФОРМАТИКА  
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Направленность (профиль)  
Программная инженерия в искусственном интеллекте

Для студентов 3-го курса

Очная форма

Составитель: И.С. Солдатенко

Тверь, 2024

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины:**

Целью освоения дисциплины является:

Формирование у студентов компетенций в области искусственного интеллекта, машинного обучения, основанного на глубоких нейронных сетях.

Задачами освоения дисциплины являются:

Изучение современных подходов к построению архитектур глубоких нейронных сетей, регуляризации и методов оптимизации при обучении глубоких моделей, рекуррентных сетей. Изучение основных направлений компьютерного зрения и обработки изображений. Приобретение навыков работы с библиотеками для решения задач компьютерного зрения и обработки изображений.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Данная дисциплина относится к разделу «Дисциплины профиля подготовки» части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1.

Для освоения дисциплины, обучающиеся должны иметь навыки программирования, работы с основными структурами данных, анализа сложности алгоритмов, а также иметь базовые знания математического анализа, теории вероятностей, алгебры и геометрии. Эти знания могут быть получены в ходе изучения таких дисциплин как «Алгоритмы и структуры данных», «Программирование», «Программирование для искусственного интеллекта», «Объектно-ориентированное программирование», «Практикум на ЭВМ», «Математический анализ», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Алгебра и геометрия», «Методы оптимизации и исследование операций», «Функциональный анализ».

Полученные в ходе изучения дисциплины знания могут быть востребованы при обучении в магистратуре и профессиональной деятельности, а также при освоении дисциплины «Генеративные модели в машинном обучении».

### **3. Объем дисциплины: 3 зачетных единицы, 108 академических часов, в том числе:**

**контактная аудиторная работа:** лекции 32 часа, практические занятия 16 часов;

**контактная внеаудиторная работа:** контроль самостоятельной работы \_\_\_ -- \_\_\_, в том числе курсовая работа \_\_\_ -- \_\_\_;

**самостоятельная работа:** 60 часов, в том числе контроль 27 часов.

### **4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной	Планируемые результаты обучения по дисциплине
---	---

программы (формируемые компетенции)	
ПК-6. Способен создавать и поддерживать системы искусственного интеллекта на основе нейросетевых моделей и методов	<p>ПК-6.1. Осуществляет оценку и выбор моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленной задачи</p> <p>ПК-6.2. Разрабатывает системы искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств</p>
ПК-9. Способен создавать и внедрять одну или несколько сквозных цифровых субтехнологий искусственного интеллекта	<p>ПК-9.1. Участвует в реализации проектов в области сквозной цифровой субтехнологии «Компьютерное зрение»</p> <p>ПК-9.2 Участвует в реализации проектов в области сквозной цифровой субтехнологии «Обработка естественного языка»</p>

**5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения** – экзамен; 6 семестр.

**6. Язык преподавания** русский.

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

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции	Практические занятия	
<b>1. Введение в глубокое обучение в компьютерном зрении</b> Постановка задачи. История компьютерного зрения и глубокого обучения.	9	2	0	7
<b>2. Классификация изображений</b> Обучение с учителем. Семантический разрыв. К-ближайших соседей. Решающие границы. Метрики расстояний. Гиперпараметры. Учебная, проверочная, тестовая выборки. Перекрестная проверка. Универсальный аппроксиматор. Проклятие размерности.	11	2	2	7

<p><b>3. Линейные классификаторы</b>          Параметрический подход. Линейный классификатор. Интерпретации линейного классификатора. Оценки классов. Функция потерь. Потеря перекрестной энтропии. Потеря мультиклассовой SVM.</p>	13	4	2	7
<p><b>4. Регуляризация. Оптимизация</b>          Переобучение модели. L1 и L2 регуляризации. Методы оптимизации. Метод градиентного спуска. Пакетный и стохастический градиентный спуск. Проблемы SGD. Инерционный SGD. Инерция Нестерова. Адаптивный градиент AdaGrad. Метод RMSProp. Метод Adam. Оптимизация второго порядка.</p>	13	4	2	7
<p><b>5. Нейронные сети прямого распространения</b>          Преобразование признаков. Рукотворные признаки изображений vs нейронные сети. Однослойный и многослойные персептрон. Матричная форма записи. Функции активации. Выразительная сила нейронной сети. Универсальный аппроксиматор.</p>	13	4	2	7
<p><b>6. Метод обратного распространения ошибки</b>          Цепное правило. Граф вычислений. Обратное распространение на основе графа вычислений. Основные шаблоны в потоке градиентов. Плоская и модульная реализация алгоритма. Векторное обратное распространение. Матрицы Якоби. Тензоры. Тензорное обратное распространение.</p>	14	4	2	8
<p><b>7. Сверточные нейронные сети</b>          Сверточный слой. Фильтры, карты активаций. Интерпретация сверток. Слой подвыборки (пулинга). Пример сети LeNet-5. Пакетная нормализация. Послойная нормализация. Пространственная нормализация. Примеры архитектур сетей: AlexNet, VGG, GoogLeNet, ResNet.</p>	17	6	3	8

<b>8. Обучение глубоких нейронных сетей</b> Функции активации: сигмоида, гиперболический тангенс, ReLU, протекающий ReLU, ELU, SELU, GELU. Предобработка данных: центрирование, нормализация, отбеливание. Инициализация весов: инициализация Ксавье, инициализация Кайминга. Дропаут. Инвертированный дропаут. Аугментация данных. Другие типы регуляризации. Расписание затухания скорости обучения. Методы поиска гиперпараметров. Анализ кривых обучения. Ансамбли моделей. Трансферное обучение.	18	6	3	9
<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>60</b>

### III. Образовательные технологии

Учебная программа – наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
1. Введение в глубокое обучение в компьютерном зрении	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция,</li> <li>• практическая работа,</li> <li>• выполнение домашнего проектного задания</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• компьютерные (показ презентаций)</li> <li>• проектный подход,</li> <li>• исследовательская работа</li> </ul>
2. Классификация изображений		
3. Линейные классификаторы		
4. Регуляризация. Оптимизация		
5. Нейронные сети прямого распространения		
6. Метод обратного распространения ошибки		
7. Сверточные нейронные сети		
8. Обучение глубоких нейронных сетей		

### IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

ПК-6. Способен создавать и поддерживать системы искусственного интеллекта на основе нейросетевых моделей и методов

№	Результат (индикатор)	Примерная формулировка заданий	Вид/способ	Критерии оценивания
1	ПК-6.1 ПК-6.2	<p>Проектное задание</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Реализовать классификатор K-ближайших соседей на датасете CIFAR-10.</li> <li>2. Используя перекрестную проверку, найти наилучшее значение гиперпараметра K.</li> <li>3. Визуализировать результат</li> </ol> <p>Проект выполняется в питоновском ноутбуке.</p>	<p><b>вид:</b> творческое, проектное задание</p> <p><b>результаты:</b> отчет, компьютерная программа</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• все задания выполнены полностью: 5 баллов,</li> <li>• не выполнена визуализация: 4 балла,</li> <li>• не найдено оптимальное значение гиперпараметра или найдено без использования перекрестной проверки: 3 балла</li> </ul>
2	ПК-6.1 ПК-6.2	<p>Примеры вопросов для устного ответа:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что из следующего верно в отношении дропаута? <ul style="list-style-type: none"> <li>• Во время тестирования (вывода) дропаут применяется с обратной вероятностью сохранения нейрона <math>p</math></li> <li>• Ни один из вышеперечисленных вариантов</li> <li>• Чем больше вероятность сохранения нейрона, тем сильнее регуляризация весов</li> <li>• Дропаут приводит к разреженности обученной матрицы весов (много нулей)</li> </ul> </li> <li>2. Во время обратного распространения, когда градиент течет назад через сигмовидную нелинейность, градиент всегда будет: <ul style="list-style-type: none"> <li>• уменьшаться по модулю, сохранять знак</li> <li>• увеличиваться по модулю, менять знак</li> <li>• увеличиваться по модулю, сохранять знак</li> <li>• уменьшаться по модулю, менять знак</li> </ul> </li> <li>3. Выберите методы, которые могут ослабить взрыв градиента: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ использование обходных соединений (residual connections)</li> <li>○ использование обрезки градиента (gradient clipping)</li> <li>○ добавление пакетной нормализации</li> <li>○ использование функции активации ReLU вместо сигмоиды</li> </ul> </li> </ol>	<p><b>вид:</b> ответы на вопросы</p> <p><b>способ:</b> устно</p>	<p>Правильный ответ на каждый вопрос – 0.5 балла.</p>

ПК-9. Способен создавать и внедрять одну или несколько сквозных цифровых субтехнологий искусственного интеллекта

№	Результат (индикатор)	Примерная формулировка заданий	Вид/способ	Критерии оценивания
1	ПК-9.1 ПК-9.2	<p>Проектное задание</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Реализовать полностью векторизованную функцию потерь для SVM</li> <li>2. Реализовать полностью векторизованное выражение для его аналитического градиента</li> <li>3. Проверить свою реализацию градиента с помощью числового градиента</li> <li>4. Использовать валидационную выборку, чтобы подобрать скорость обучения и силу регуляризации</li> <li>5. Оптимизировать функцию потерь с помощью SGD</li> <li>6. Визуализировать веса обученной модели</li> </ol> <p>Проект выполняется в питоновском ноутбуке.</p>	<p><b>вид:</b> творческое, проектное задание</p> <p><b>результаты:</b> отчет, компьютерная программа</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• все задания выполнены полностью: 5 баллов,</li> <li>• не выполнена визуализация: 4 балла,</li> <li>• не найдено оптимальное значение гиперпараметров или найдено без использования валидационной выборки: 3 балла</li> </ul>
2	ПК-9.1 ПК-9.2	<p>Примеры вопросов для письменного ответа:</p> <p>Вы создаете глубокую сверточную нейронную сеть, имеющую модульную архитектуру. Пусть ваша сеть состоит из <b>трех</b> идентичных модулей, каждый из которых включает в себя:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• сверточный слой,</li> <li>• слой max-пулинга,</li> <li>• слой ReLU.</li> </ul> <p>Все слои пулинга будут иметь шаг 2 и высоту/ширину 2.</p> <p>На основе данных ниже гиперпараметров сверточных слоев определите форму выходных данных, получаемых после прохождения одного изображения формы <math>126 \times 126 \times 3</math> (формат <math>H \times W \times C</math>) через всю сеть, а также количество параметров во всей сети.</p> <p>Сверточные слои имеют 64 фильтра размером <math>3 \times 3</math>, шагом 1, паддингом 0.</p> <p>Укажите форму выходных данных сети: <math>H \times W \times C</math> и количество параметров сети.</p>	<p><b>вид:</b> ответы на вопросы</p> <p><b>способ:</b> письменно</p>	<p>Правильный ответ на каждый вопрос – 0.5 балла</p>

## V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 1) Рекомендуемая литература

#### а) Основная литература

1. Яхьяева, Г.Э. Основы теории нейронных сетей / Г.Э. Яхьяева. - 2-е изд., испр. - Москва : Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. - 200 с. : ил. - (Основы информационных технологий). - ISBN 978-5-94774-818-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429110>.
2. Гудфеллоу, Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль ; перевод с английского А. А. Слинкина. — 2-е изд. — Москва : ДМК Пресс, 2018. — 652 с. — ISBN 978-5-97060-618-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/107901>

#### б) Дополнительная литература

1. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016. [Electronic resource]. – URL: <https://www.deeplearningbook.org>
2. Дэвис Р., Терк М. Компьютерное зрение. Передовые методы и глубокое обучение. – М.: ДМК-Пресс, 2022. – 690 с.
3. Шапиро, Л. Компьютерное зрение : учебное пособие / Л. Шапиро, Д. Стокман ; под редакцией С. М. Соколова ; перевод с английского А. А. Богуславского. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 763 с. — ISBN 978-5-00101-696-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/135496>

### 2) Программное обеспечение

<b>Компьютерный класс факультета прикладной математики и кибернетики № 46 (170002, Тверская обл., г.Тверь, Садовый переулок, д.35)</b>	
Adobe Acrobat Reader DC - Russian	бесплатно
Apache Tomcat 8.0.27	бесплатно
Cadence SPB/OrCAD 16.6	Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009
GlassFish Server Open Source Edition 4.1.1	бесплатно
Google Chrome	бесплатно
Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit)	бесплатно
JetBrains PyCharm Community Edition 4.5.3	бесплатно
JetBrains PyCharm Edu 3.0	бесплатно
Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows	Акт на передачу прав ПК545 от 16.12.2022



Lazarus 1.4.0	бесплатно
Mathcad 15 M010	Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011
MATLAB R2012b	Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012
Многофункциональный редактор ONLYOFFICE бесплатное ПО	бесплатно
ОС Linux Ubuntu бесплатное ПО	бесплатно
MiKTeX 2.9	бесплатно
MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK	бесплатно
NetBeans IDE 8.0.2	бесплатно
NetBeans IDE 8.2	бесплатно
Notepad++	бесплатно
Oracle VM VirtualBox 5.0.2	бесплатно
Origin 8.1 Sr2	договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»
Python 3.1 pygame-1.9.1	бесплатно
Python 3.4 numpy-1.9.2	бесплатно
Python 3.4.3	бесплатно
Python 3.5.1 (Anaconda3 2.5.0 64-bit)	бесплатно
WCF RIA Services V1.0 SP2	бесплатно
WinDjView 2.1	бесплатно
R Studio	бесплатно
Anaconda3 2019.07 (Python 3.7.3 64-bit)	бесплатно

<b>Компьютерный класс факультета прикладной математики и кибернетики № 249 (170002, Тверская обл., г.Тверь, Садовый переулок, д.35)</b>	
Cadence SPB/OrCAD 16.6	Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009
FidesysBundle 1.4.43 x64	Акт приема передачи по договору №02/12-13 от 16.12.2013
Google Chrome	бесплатно
JetBrains PyCharm Community Edition 4.5.3	бесплатно
Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows	Акт на передачу прав ПК545 от 16.12.2022
Lazarus 1.4.0	бесплатно
Mathcad 15 M010	Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011
MATLAB R2012b	Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012
MiKTeX 2.9	бесплатно
NetBeans IDE 8.0.2	бесплатно
Notepad++	бесплатно
OpenOffice	бесплатно

Origin 8.1 Sr2	договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»
Python 3.4.3	бесплатно
Python 3.5.1 (Anaconda3 2.5.0 64 bit)	бесплатно
R for Windows 3.3.2	бесплатно
STATGRAPHICS Centurion XVI.И	Акт приема-передачи № Tr024185 от 08.07.2010
Многофункциональный редактор ONLYOFFICE бесплатное ПО	бесплатно
ОС Linux Ubuntu бесплатное ПО	бесплатно

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

ЭБС «**ZNANIUM.COM**» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

ЭБС «**Университетская библиотека онлайн**» <https://biblioclub.ru/>;

ЭБС «**Лань**» <http://e.lanbook.com>.

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- Электронная образовательная среда ТвГУ: <http://lms.tversu.ru>

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

Электронные презентации по материалам курса размещаются на сайте поддержки учебного процесса по дисциплине: <http://lms.tversu.ru>

Важной составляющей данного раздела РПД являются требования к рейтинг-контролю с указанием баллов, распределенных между модулями и видами работы обучающихся.

Максимальная сумма баллов по учебной дисциплине, заканчивающейся экзаменом, по итогам семестра составляет 60 баллов (30 баллов - 1-й модуль и 30 баллов - 2-й модуль).

Обучающемуся, набравшему 40–54 балла, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в рейтинговой ведомости учета успеваемости и зачетной книжке может быть выставлена оценка «удовлетворительно».

Обучающемуся, набравшему 55–57 баллов, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в графе рейтинговой ведомости учета успеваемости «Премияльные баллы» может быть добавлено 15 баллов и выставлена экзаменационная оценка «хорошо».

Обучающемуся, набравшему 58–60 баллов, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в графе рейтинговой ведомости учета успеваемости «Премияльные баллы» может быть добавлено 27 баллов и выставлена экзаменационная оценка «отлично». В каких-либо иных случаях добавление премиальных баллов не допускается.

Обучающийся, набравший до 39 баллов включительно, сдает экзамен.

Распределение баллов по модулям устанавливается преподавателем и может корректироваться.

### **Типовые задания для рейтингового контроля**

1) Постройте вычислительный граф для функции  $y(x,y,z)=\sqrt{(x+y)/(2z^2)}$ , нарисуйте над стрелками прямой проход по графу со значениями  $x=2, y=5, z=1$ , а затем и обратное распространение.

2) Дана полносвязная сеть прямого распространения следующей конфигурации: размер изображений – 3072 пикселя (уже вытянуто в вектор), количество нейронов на первом скрытом слое – 10000, количество нейронов на втором скрытом слое – 5000, количество нейронов на выходном слое – 10. Рассчитайте:

- Размеры всех матриц и векторов параметров
- Количество параметров нейронной сети (не забудьте смещения!)
- Во время обучения сеть должна хранить активации на всех слоях.

Предположим, обучение происходит пакетами по 100 изображений. Рассчитайте объем памяти, требуемый для хранения всех активаций

### **Типовые вопросы для подготовки к экзамену**

- Типовые архитектуры искусственных нейронных сетей;
- Математическая модель нейрона;
- Алгоритм обратного распространения ошибки;
- Алгоритм ADAM;
- Алгоритм RmsPROP;
- Понятие переобучения;
- Метод кросс-проверки;

### **Примеры заданий для самостоятельной работы**

1) Реализуйте различные модели классификаторов изображений, основанные на SVM / Softmax / двухслойной нейронной сети. Цели этого задания заключаются в следующем:

- Реализация и применение классификатора на основе многоклассовой машины опорных векторов (SVM)
- Реализация и применение Softmax-классификатора
- Реализация и применение классификатора на основе двухслойной нейронной сети
- Понимание различий между этими классификаторами
- Практика векторизации вычислений

2) Реализуйте полносвязные нейронные сети и сверточные нейронные сети для моделей классификации изображений. Цели данного задания следующие:

- Понимать нейронные сети и то, как они устроены в многоуровневых архитектурах
- Понимать и уметь реализовывать модульное обратное распространение
- Реализовать различные правила обновления, используемые для оптимизации нейронных сетей
- Реализовать пакетную нормализацию для обучения глубоких сетей
- Реализовать Dropout для регуляризации сетей
- Понимать архитектуру сверточных нейронных сетей и попрактиковаться в обучении этих моделей на данных

## VII. Материально-техническое обеспечение

Для аудиторной работы.

Компьютерный класс факультета ПМиК № 4в (170002, Тверская обл., г.Тверь, Садовый переулок, д.35)	Компьютер, экран, маркерная доска, проектор, кондиционер.
Учебная аудитория № 206 (170002, Тверская обл., г.Тверь, Садовый переулок, д.35)	Набор учебной мебели, экран, проектор.

Для самостоятельной работы

Помещение для самостоятельной работы обучающихся: Компьютерный класс факультета прикладной математики и кибернетики № 4б (170002, Тверская обл., г.Тверь, Садовый переулок, д.35)	Компьютер, экран, проектор, кондиционер.
--	--

## VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			