

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Глубокое обучение

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы

Искусственный интеллект

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.02 Глубокое обучение относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-10: Способен конвертировать результаты научно-исследовательских и/или опытно-конструкторских работ в требования ИТ-проекта в области компьютерной графики и моделирования живых и технических систем (КГуМ), и обратно: способен обеспечить ИТ-проект необходимым исследованием и опытно-конструкторскими работами	ПК-10.1: Знает методы планирования в проектах малого и среднего уровня сложности в области ИТ ПК-10.2: Умеет проводить мониторинг и управление работами проекта в проектах малого и среднего уровня сложности в области ИТ ПК-10.3: Имеет практический опыт управления изменениями в проектах малого и среднего уровня сложности в области ИТ	ПК-10.1: Знать как использовать алгоритмы и методы глубокого обучения в решении научных задач и задач проектной и производственно-технологической деятельности ПК-10.2: Уметь решать задачи методами глубокого обучения. ПК-10.3: Владеть навыками решения прикладных задач методами глубокого обучения.	Практическое задание Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16

- КСР	1
самостоятельная работа	59
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение в глубокое обучение (deep learning).	13	4	2	6	7
Многослойные полностью связанные сети	13	4	2	6	7
Обзор библиотек глубокого обучения. Разработка сети, соответствующей логистической регрессии, на примере задачи распознавания рукописных цифр.	13	4	2	6	7
Сверточные нейронные сети.	13	4	2	6	7
Визуализация фильтров/выходов на промежуточных слоях сети.	13	4	2	6	7
Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие.	14	4	2	6	8
Обучение без учителя.	14	4	2	6	8
Перенос обучения (transfer learning) глубоких нейронных сетей.	6	1	1	2	4
Создание логически прозрачного и объяснимого искусственного интеллекта. Объяснимые нейронные сети.	8	3	1	4	4
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	108	32	16	49	59

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение в глубокое обучение (deep learning).
2. Многослойные полностью связанные сети
3. Обзор библиотек глубокого обучения. Разработка сети, соответствующей логистической регрессии, на примере задачи распознавания рукописных цифр.
4. Сверточные нейронные сети.
5. Визуализация фильтров/выходов на промежуточных слоях сети.
6. Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие.
7. Обучение без учителя.
8. Перенос обучения (transfer learning) глубоких нейронных сетей.

9. Создание логически прозрачного и объяснимого искусственного интеллекта. Объяснимые нейронные сети.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

Электронные курсы, созданные в системе электронного обучения ННГУ:

Глубокое обучение, <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=6119>.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-10:

Лабораторная работа

№1. Реализация метода обратного распространения ошибки для трехслойного персептрона (по материалам лекции №2)

Лабораторная работа №2. Разработка полностью связанной нейронной сети с использованием одной из библиотек глубокого обучения для решения некоторой заданной задачи. Проведение экспериментов с разным количеством скрытых слоев и числом скрытых элементов на каждом слое. Сбор результатов качества работы сетей (по материалам лекции №3)

Лабораторная работа №3. Разработка сверточной нейронной сети для решения той же задачи, что и в предыдущей лабораторной работе. Проведение экспериментов с разными конфигурациями сверточных нейронных сетей. Сбор результатов качества работы сетей. (по материалам лекции №4)

Лабораторная работа №4. Применение переноса обучения для решения задачи, поставленной в ходе второй лабораторной работы. Проведение экспериментов с сетями, существующими для решения классических задач. Сбор результатов качества работы сетей с предварительной настройкой весов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все практические задания (лабораторные работы) выполнены в полном объеме и в срок, при этом применен творческий подход к решению нестандартных задач. Описаны все этапы выполнения заданий, код и

Оценка	Критерии оценивания
	результаты работы представлены преподавателю.
отлично	Все практические задания (лабораторные работы) выполнены в полном объеме и в срок. Описаны все этапы выполнения заданий, код и результаты работы представлены преподавателю.
очень хорошо	Выполнены основные этапы решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Код и результаты работы представлены преподавателю в срок.
хорошо	Выполнены часть этапов решения задачи или задача решена с недочетами. Код и результаты работы представлены преподавателю в срок.
удовлетворительно	Выполнены часть этапов решения задачи или задача решена с существенными недочетами. Код и результаты работы представлены преподавателю, но с отклонениями от сроков.
неудовлетворительно	Выполнены не все практические задания (лабораторные работы) или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, код работает некорректно, результаты работы не представлены преподавателю).
плохо	Студент не приступал к выполнению практических заданий.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-10:

1. Что такое глубокое обучение (deep learning)? Истоки возникновения (связь с биологией).
2. Многослойные полностью связанные сети (Fully-Connected Neural Networks, FCNN). Общая структура модели. Слои, функции активации и функции ошибки.
3. Многослойные полностью связанные сети (Fully-Connected Neural Networks, FCNN). Оптимизационная постановка задачи обучения многослойной нейронной сети. Метод обратного распространения ошибки (Back Propagation, BP). Стохастический градиентный спуск (Stochastic Gradient Descent, SGD). Настраиваемые параметры метода.
4. Сверточные нейронные сети. Структура модели.
5. Возможные слои (свертка, pooling, dropout, Local Contrast Normalization, Batch Normalization и другие). Функции активации (сигмоидальные, ReLU). Функции ошибки.
6. Сверточные нейронные сети. Оптимизационная постановка задачи обучения сверточной нейронной сети. Метод обратного распространения ошибки для сверточных нейронных сетей.

7. Сверточные нейронные сети. Определение числа обучаемых параметров. Оценка объема памяти, необходимой для хранения сети.
 8. Задача классификации изображений. Примеры глубоких нейронных сетей для решения задачи.
 9. Задача семантической сегментации изображений. Связь с задачей классификации изображений. Примеры глубоких нейронных сетей для решения задачи.
 10. Задача детектирования объектов на изображениях. Примеры глубоких нейронных сетей для решения задачи.
 11. Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие. Общая структура модели. Полностью рекуррентная нейронная сеть. Примеры простейших сетей: сеть Эльмана, сеть Хопфилда. Двухнаправленные рекуррентные нейронные сети. Длинные рекуррентные нейронные сети с короткой памятью.
 12. Обучение без учителя. Автокодировщик, глубокий автокодировщик, стек автокодировщиков.
- Применение метода обратного распространения ошибки для обучения сети.
13. Обучение без учителя. Ограниченная машина Больцмана. Пример. Глубокая машина Больцмана (Deep Boltzmann machine, DBM). Глубокая доверительная сеть.
 14. Типовые эксперименты при реализации переноса обучения (transfer learning).
 15. Объяснимый искусственный интеллект. Значимость, основные проблемы. Методы объяснения глубоких моделей.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				

<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»

не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-10

1. Введение в глубокое обучение (deep learning).

- a. Что такое глубокое обучение (deep learning)?
 - b. Истоки возникновения (связь с биологией).
 - c. Примеры задач, которые решаются с использованием глубокого обучения:
 - d. Задачи компьютерного зрения (computer vision): классификация изображений с большим числом категорий, детектирование объектов, семантическая сегментация изображений.
 - a. Задачи распознавания естественного языка: машинный перевод, генерация текста в естественного языка, грамматический разбор слов.
 - a. Другие примеры задач (генерация описания модели, задачи планирования).
 - b. Классификация моделей по способу обучения.
 - c. Обучение с учителем (supervised learning): многослойные полностью связанные сети, сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети.
 - i. Обучение без учителя (unsupervised learning): автокодировщик, ограниченный машина Больцмана (Restricted Boltzmann Machine, RBM), глубокая машина Больцмана.
 - e. Оптимизационная постановка задачи обучения многослойной нейронной сети.
 - f. Метод обратного распространения ошибки (Back Propagation, BP).
 - g. Стохастический градиентный спуск (Stochastic Gradient Descent, SGD). Настраиваемые параметры метода.
 - h. Пример влияния параметров метода на скорость сходимости и результаты работы сети.
- ##### 1. Обзор библиотек глубокого обучения. Разработка сети, соответствующей логистической регрессии, на примере задачи распознавания рукописных цифр.
- a. Структура сети, соответствующая логистической регрессии.
 - b. Задача распознавания рукописных цифр.
 - c. Обзор библиотек глубокого обучения.
 - d. Библиотека PyTorch (Python). Пример разработки сети, обучения и тестирования сети.
- a. Библиотека MXNet (Python). Пример разработки сети, обучения и тестирования сети.

1. Сверточные нейронные сети.

- a. Структура модели.
- b. Возможные слои (свертка, pooling, dropout, Local Contrast Normalization, Batch Normalization и другие).
- c. Функции активации (сигмоидальные, ReLU).
- d. Функции ошибки.

- e. Оптимизационная постановка задачи обучения сверточной нейронной сети.
- f. Метод обратного распространения ошибки для сверточных нейронных сетей.
- g. Пример простейшей сверточной нейронной сети: структура сети; влияние параметров метода обучения.
- h. Определение числа обучаемых параметров. Оценка объема памяти, необходимой для хранения сети.

1. Глубокие нейросетевые модели для решения задач компьютерного зрения.

- a. Глубокие модели для классификации изображений (AlexNet, VGG, DenseNet, GoogleNet, и другие).
- b. Глубокие модели для семантической сегментации изображений (FCN, DeepLab, SegNet, и другие).
- c. Глубокие модели для детектирования объектов на изображениях (R-CNN, Fast R-CNN, SSD, Yolo, и другие).

1. Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие.

- a. Общая структура модели.
- b. Полностью рекуррентная нейронная сеть.
- c. Проблемы обучения рекуррентных сетей. Развертывание рекуррентной сети во времени и адаптация метода обратного распространения ошибки.
- d. Примеры простейших сетей: сеть Эльмана, сеть Хопфилда.
- e. Пример использования рекуррентных нейронных сетей к задаче распознавания цифр.
- f. Двухнаправленные рекуррентные нейронные сети.
- g. Рекурсивные нейронные сети.
- h. Длинные рекуррентные нейронные сети с короткой памятью.

1. Обучение без учителя.

- a. Автокодировщики, стек автокодировщиков, глубокие автокодировщики. Применение метода обратного распространения ошибки для обучения автокодировщика.
- b. Ограниченная машина Больцмана. Глубокая машина Больцмана (Deep Boltzmann machine, DBM).
- c. Глубокая доверительная сеть (Deep Belief Network, DBN).

1. Перенос обучения (transfer learning) глубоких нейронных сетей.

- a. Полное обучение параметров всех слоев сети с произвольной начальной инициализацией.
- b. Обучение всех слоев параметров всех слоев сети с начальной инициализацией, полученной в результате обучения модели для решения исходной задачи.
- c. Обучение только последних слоев (измененных) сети с начальной инициализацией, полученной в результате обучения модели для решения исходной задачи.

1. Создание логически прозрачного и объяснимого искусственного интеллекта. Объяснимые нейронные сети.

- d. Значимость объяснимого искусственного интеллекта. Проблемы объяснимого искусственного интеллекта. Основная терминология объяснимого искусственного интеллекта.
- e. Локальная, визуальная и глобальная интерпретация глубоких моделей.
- f. Методы объяснения моделей: методы для объяснения любой архитектуры, методы для объяснения специфичных моделей (объяснимые модели).
- g. Методы для объяснения специфичных моделей (объяснимые модели): Байесовская случайная модель, обобщенная аддитивная модель, список Байесовских правил, нейронная аддитивная модель.

- h. Методы для объяснения любой архитектуры. Глобальная интерпретация с использованием локальных методов интерпретации: LIME, SP-LIME, LRP, SHAP. Техника активации спектральной релевантности (SpRAy). Глобальный анализ атрибутов. Автоматическое объяснение на основе концепций.
- i. Существующие программные инструменты для поддержки объяснимого искусственного интеллекта.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Лекун Я. Как учится машина. Революция в области нейронных сетей и глубокого обучения : монография / Лекун Я. - Москва : Альпина ПРО, 2021. - 335 с. - ISBN 978-5-907394-92-6., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=869003&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Филиппов Ф. В. Моделирование нейронных сетей глубокого обучения : учебное пособие / Филиппов Ф. В. - Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2019. - 79 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича - Информатика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=779898&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Уменьшение количества параметров. Замена сверточных слоев большой размерности стеком сверток более низкой размерности [<https://arxiv.org/pdf/1409.1556.pdf>].
2. Более эффективное разделение пространства признаков за счет использования полностью связанных слоев. Замена полностью связанных слоев на сверточные [<https://arxiv.org/pdf/1312.4400v3.pdf>].
3. Принципы построения сверточных сетей [<https://arxiv.org/pdf/1512.00567v3.pdf>].
4. Проблема деградация модели. Глубокие остаточные сети (DeepResidualNetworks) [<https://arxiv.org/pdf/1512.03385v1.pdf>].
5. Классификация методов визуализации признаков [<https://arxiv.org/pdf/1606.07757.pdf>].
6. Визуализация фильтров и выходов слоев в Caffe [<http://nbviewer.jupyter.org/github/BVLC/caffe/blob/master/examples/00-classification.ipynb>].
7. Визуализация фильтров и выходов слоев в Torch [<https://github.com/facebook/iTorch>].

8. Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие [<http://www.deeplearningbook.org/contents/rnn.html>].
9. Длинные рекуррентные нейронные сети с короткой памятью (Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network, LSTM-RNN) [http://deeplearning.cs.cmu.edu/pdfs/Hochreiter97_lstm.pdf].
10. Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие [<http://www.deeplearningbook.org/contents/rnn.html>].
11. Разверточные нейронные сети (Deconvolutional Neural Networks) [<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.727.9680&rep=rep1&type=pdf>].

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Золотых Николай Юрьевич, доктор физико-математических наук, доцент
Кустикова Валентина Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.