

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 Ученого совета ННГУ
протокол № 15 от 24.12.2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Глубокое обучение

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы
Системное программирование

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2026 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.06 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-2: Способен к применению общенаучных базовых знаний математических и естественных наук, фундаментальной информатики и информационных технологий; применять в профессиональной деятельности современные языки программирования и методы параллельной обработки данных, операционные системы, электронные библиотеки и пакеты программ, сетевые технологии	ПК-2.1: Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, имеет научные знания в теории информационных систем 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 информационных технологий	ПК-2.1: Знает основные алгоритмы и методы глубокого обучения, основы языка Python или среды вычислений R ПК-2.2: Умеет использовать методы машинного обучения на практике, оценивать качество методов, работать с библиотекой Scikit-Learn или средой для статистических вычислений R ПК-2.3: Имеет практический опыт разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей глубокого обучения	Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы Задачи

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32

- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	39
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	8	4	0	4	4
Свёрточные и рекуррентные сети	8	4	0	4	4
Перенос знаний	6	2	0	2	4
Механизм внимания и трансформеры	8	4	0	4	4
Интерпретация работы нейросетей	9	2	0	2	7
Автокодировщики. Вариационный автокодировщик	8	4	0	4	4
Генеративно-состязательные сети	8	4	0	4	4
Диффузионные модели	8	4	0	4	4
Обработка временных рядов	8	4	0	4	4
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	32	0	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

Цели и задачи дисциплины:

Изучить фундаментальные принципы, методы и архитектуры глубокого обучения, а также научиться применять их для решения прикладных задач обработки данных, распознавания образов, обработки речи и других современных задач искусственного интеллекта.

Дисциплина готовит специалистов к практической работе с нейросетевыми технологиями и применению специализированных программных инструментов и библиотек.

Содержание разделов и тем дисциплины.

1. Введение в глубокое обучение.

История и предпосылки развития. Отличие глубокого обучения от классического машинного обучения.

Многослойный перцептрон (MLP). Функции активации: сигмоида, tanh, ReLU, LeakyReLU, Swish.

Прямое и обратное распространение ошибки. Градиентный спуск и его модификации: SGD с моментом, Adam. Функции потерь: среднеквадратичная ошибка, бинарная и категориальная кросс-энтропия. Пакетная и слоевая нормализация. Регуляризация: dropout, L1/L2-регуляризация. Инициализация весов (Xavier, He). Организация обучения: эпохи, батчи, валидация. Обзор основных фреймворков (PyTorch, TensorFlow/Keras).

2. Основы глубокого обучения. Свёрточные и рекуррентные сети.

Свёрточные нейронные сети (CNN). Свёрточный слой, ядро (фильтр), stride, padding. Карты признаков, операция свёртки. Пулинг (max, average). Классические архитектуры: LeNet, AlexNet, VGG, ResNet (skip connections и остаточные блоки), Inception. Рекуррентные нейронные сети (RNN). Проблема исчезающего градиента. LSTM (вентили forget, input, output) и GRU. Двухнаправленные рекуррентные сети. Применение CNN к последовательным данным (1D свёртки) и RNN к обработке текстов и временных рядов.

3. Перенос знаний.

Идея transfer learning. Предобученные модели на больших наборах данных (ImageNet, текстовые корпуса). Стратегии адаптации: извлечение признаков (заморозка слоёв) и тонкая настройка (fine-tuning). Выбор размораживаемых слоёв. Дообучение классификационных голов. Доменная адаптация и проблема сдвига распределения. Практическое использование предобученных моделей в PyTorch (torchvision.models) и библиотеке Hugging Face Transformers (BERT, ViT).

4. Механизм внимания и трансформеры.

Ограничения RNN при работе с длинными последовательностями. Механизм внимания: запрос (Q), ключ (K), значение (V). Scaled dot-product attention и multi-head attention. Архитектура трансформера: энкодер и декодер. Позиционное кодирование (синусоидальное и обучаемое). Остаточные связи и слоевая нормализация. Применение трансформеров в NLP (BERT, GPT, T5) и компьютерном зрении (Vision Transformer, ViT). Патчинг изображений. Токенизация и контекстуализированные эмбединги.

5. Интерпретация работы нейросети.

Проблема «чёрного ящика» и мотивация к интерпретации. Визуализация карт признаков и фильтров. Class Activation Mapping (CAM), Grad-CAM, Guided Backpropagation. Методы поатрибуции признаков: интегрированные градиенты (Integrated Gradients). Локальные суррогатные модели: LIME. SHAP-значения (Shapley Additive Explanations). Интерпретация механизма внимания: визуализация матриц attention в трансформерах. Инструменты: Captum для PyTorch.

6. Автокодировщики. Вариационный автокодировщик.

Автоэнкодер (AE): кодировщик и декодировщик. Undercomplete AE для понижения размерности. Sparse AE и Denoising AE. Стэкинг (последовательное предобучение) автокодировщиков. Скрытое пространство и его свойства. Вариационный автоэнкодер (VAE): вероятностная постановка, функция потерь на основе Evidence Lower Bound (ELBO). Репараметризационный трюк. Составляющие потерь: ошибка реконструкции и KL-дивергенция. Генеративные возможности VAE.

7. Генеративно-состязательные сети.

Adversarial learning: генератор и дискриминатор. Минимаксная игра и функция потерь. Проблемы обучения: нестабильность, коллапс мод (mode collapse). DCGAN: архитектурные рекомендации. Условные GAN (cGAN). Улучшенные варианты: Wasserstein GAN (WGAN) с gradient penalty (WGAN-GP). Метрики качества генерации: Inception Score, FID. Примеры применений: генерация лиц, Style Transfer (CycleGAN).

8. Диффузионные модели.

Вероятностные диффузионные модели (DDPM). Прямой процесс: зашумление данных гауссовским шумом по фиксированному расписанию. Обратный процесс: обучение нейросети предсказывать добавленный шум. Параметризация через шумопредсказание, функция потерь. U-Net как основа архитектуры. Процедура сэмплирования и ускоренные методы (DDIM). Связь со score-based моделями. Современные примеры: Stable Diffusion (Latent Diffusion), DALL-E 2. Задачи: генерация изображений по текстовому описанию, инпейнтинг.

9. Обработка временных рядов.

Специфика данных: тренды, сезонность, автокорреляция. Классические статистические подходы как baseline (ARIMA). Рекуррентные модели (LSTM, GRU) для прогнозирования. Свёрточные архитектуры: Temporal Convolutional Networks (TCN) с причинной свёрткой, WaveNet. Трансформеры для временных рядов: Informer, Autoformer, TimesNet. Задачи: многопрогнозное прогнозирование, классификация, детекция аномалий. Метрики: MAE, RMSE, MAPE. Предобработка: скользящее окно, нормализация.

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 выполнения программы самостоятельной работы дисциплины «Глубокое обучение» достаточно: (а) самостоятельной проработки лекционного и дополнительного материала и (б) выполнения практической части дисциплины.

Практическая часть курса предлагает к решению около 60 заданий, сгруппированных по девяти тематическим разделам, различной сложности (сложность пропорциональна числу баллов), закрепляющих теоретический материал. Для получения зачёта необходимо набрать не менее 60 % от максимального балла за задания и успешно защитить как минимум два из трёх крупных проектов.

Задания выполняются в среде Jupyter Notebook и проверяются автоматически с помощью системы тестирования на основе pytest. Типовая структура задания включает:

notebook.ipynb— интерактивный ноутбук с описанием задачи, шаблонами кода, визуализациями и контрольными вопросами;

tests.py — набор автоматических тестов для проверки корректности реализованных функций, слоёв или моделей;

environment.yml — файл с описанием программного окружения (conda или pip) для воспроизводимого выполнения задания.

Помимо функциональной корректности (прохождение тестов) оценивается также качество кода: соответствие стандарту PEP8, читаемость, наличие docstring и комментариев. Проверка осуществляется автоматически с использованием линтеров flake8 и pylint.

При выполнении самостоятельной работы студентам рекомендуется использовать конспекты лекций, а также рекомендуемую литературу:

Основная литература:

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Г93 Глубокое обучение: пер. с англ //М.: ДМК Пресс. – 2018.
2. Николенко С., Кадурын А., Архангельская Е. Глубокое обучение //СПб.: Питер. – 2018. – Т. 480.

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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Сравнение скорости инференса

Загрузите предобученную модель ResNet-18. Измерьте среднее время обработки одного изображения на CPU и на GPU. Оцените, сколько изображений в секунду способна обработать модель в каждом случае.

Экспорт модели

Выполните тонкую настройку предобученной MobileNetV2 для классификации изображений на небольшом пользовательском наборе данных. Экспортируйте дообученную модель в формат ONNX. Сравните размер файла исходной модели PyTorch и полученной ONNX-версии.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Набрано $\geq 50\%$ баллов за задачи и решено как минимум два больших задания или Набрано $\geq 60\%$ баллов за задачи и решено как минимум одно большое задание
не зачтено	Не выполнены критерии оценки зачтено

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора 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	При решении	Продемонс	Продемонс	Продемонс	Продемонс	Продемонс

	минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	трированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	трированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	трированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	трированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	трированы 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 и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован 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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

Среди множества заданий есть большие проекты, каждый из которых требует самостоятельной реализации, обучения и анализа полноценной нейросетевой модели на реальном или близком к реальному наборе данных. Примерное содержание проектов:

проект 1 — тонкая настройка предобученного трансформера (BERT) для задачи классификации текстов, включая аугментацию данных и оценку интерпретируемости;

проект 2 — обучение генеративно-сопоставительной сети (DCGAN/WGAN-GP) для генерации изображений с анализом качества (Inception Score, FID).

проект 3 — построение диффузионной модели (DDPM) для генерации изображений или модели прогнозирования временного ряда с визуализацией и метриками.

Каждый проект предполагает написание кода объёмом несколько сотен строк и оформляется в виде отдельного отчёта (ноутбука) с выводами и анализом результатов.

Перенос знаний с ResNet

Используйте предобученную модель ResNet-18. Заморозьте веса всех слоёв, замените последний полносвязный слой новым, соответствующим числу классов выбранного небольшого датасета (например, цветы или бытовые предметы). Обучите только новый слой. Оцените точность на тестовой выборке и сравните с обучением той же архитектуры с нуля. Сделайте вывод о преимуществах переноса знаний.

Визуализация фильтров свёрточной сети

Для обученной свёрточной сети (например, из задания «Свёрточная сеть на CIFAR-10») визуализируйте веса фильтров первого свёрточного слоя в виде изображений (цветных или серых). Опишите, какие примитивные признаки (границы, текстуры, цветовые переходы) выделяют различные фильтры, и как это соотносится с иерархическим извлечением признаков в свёрточных сетях.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Набрано $\geq 50\%$ баллов за задачи и решено как минимум два больших задания или Набрано

Оценка	Критерии оценивания
	≥60% баллов за задачи и решено как минимум одно большое задание
не зачтено	Не выполнены критерии оценки зачтено

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

Основная литература:

1. Гудфеллоу Я. Глубокое обучение : монография / Гудфеллоу Я.; Бенджио И.; Курвилль А. - Москва : ДМК-пресс, 2018. - 652 с. - ISBN 978-5-97060-618-6. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=772962&idb=0>.
2. Ма К. Трехмерное глубокое обучение на Python : практическое руководство / Ма К., Хегде В., Йольан Л. - Москва : ДМК-пресс, 2023. - 226 с. - ISBN 978-5-93700-202-0. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=1012119&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Антонов И. В. Прикладное глубокое обучение : учебное пособие / Антонов И. В., Бруттан Ю. В. - Псков : ПсковГУ, 2024. - 138 с. - Книга из коллекции ПсковГУ - Информатика. - ISBN 978-5-00200-228-3. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=976575&idb=0>.
2. Глубокое обучение для поисковых систем / Теофили Т. - Москва : ДМК-пресс, 2020. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=664880&idb=0>.
3. Лэнхэм М. Эволюционное глубокое обучение : монография / Лэнхэм М. - Москва : ДМК-пресс, 2023. - 440 с. - ISBN 978-5-93700-253-2. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=1012159&idb=0>.
4. Шолле Ф. Глубокое обучение с R и Keras : монография / Шолле Ф. - Москва : ДМК-пресс, 2023. - 646 с. - ISBN 978-5-93700-189-4. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=935198&idb=0>.

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

- Официальный сайт PyTorch: <https://pytorch.org>
- Документация Hugging Face Transformers: <https://huggingface.co/docs/transformers>
- Онлайн-платформа Google Colab: <https://colab.research.google.com>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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

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 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Долотов Евгений Анатольевич.

Заведующий кафедрой: Золотых Николай Юрьевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.12.2025, протокол № протокол №6.