

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  
президиумом Ученого совета ННГУ  
от «30» ноября 2022 г. № 13

## **Рабочая программа дисциплины**

**Глубокое обучение**

---

Уровень высшего образования  
**магистратура**

---

Направление подготовки  
**010402 Прикладная математика и информатика**

---

Направленность образовательной программы  
**Компьютерные науки и приложения**

---

Форма обучения  
**очная**

---

Нижний Новгород  
2022

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

### Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина (Б1.В.04) читается в третьем семестре магистратуры, относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

### Цель освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Глубокое обучение» является овладение алгоритмами и методами глубокого обучения (deep learning) – специального раздела в машинном обучении (machine learning); формирование умений и навыков решения практических задач с использованием методов глубокого обучения.

## 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	
<i>ПК-4</i> Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	<i>ПК-4.1. Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</i>	<i>ЗНАТЬ</i> Типовые модели глубокого обучения.	Собеседование (экзамен)
	<i>ПК-4.2. Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</i>	<i>УМЕТЬ</i> Применять типовые модели глубокого обучения для решения научных проблем и задач.	Лабораторная работа (текущий контроль)
	<i>ПК-4.3 Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</i>	<i>ВЛАДЕТЬ</i> Навыками построения моделей глубокого обучения для решения научных проблем и задач.	Лабораторная работа (текущий контроль)
<i>ПК-11</i> Способен разрабатывать и	<i>ПК-11.1. Знает методы разработки и анализа</i>	<i>ЗНАТЬ</i> Алгоритмы и методы глубокого обучения.	Собеседование (экзамен)

анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности	концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач		
	ПК-11.2. Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач	<b>УМЕТЬ</b> Применять на практике алгоритмы и методы глубокого обучения для решения задач производственно-технологической деятельности.	Лабораторная работа (текущий контроль)
	ПК-11.3 Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач	<b>ВЛАДЕТЬ</b> Навыками реализации программных систем для решения задач производственно-технологической деятельности.	Лабораторная работа (текущий контроль)

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>6 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>216</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>66</b>
– занятия лекционного типа	32
– занятия семинарского типа	32
– занятия лабораторного типа	0
– текущий контроль (КСР)	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>114</b>
<b>Промежуточная аттестация: экзамен</b>	<b>36</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание	Всего	в том числе
-----------------------------------	-------	-------------

		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего контактных часов	
Введение в глубокое обучение (deep learning).	22	4	4		8	14
Многослойные полностью связанные сети.	22	4	4		8	14
Обзор библиотек глубокого обучения. Разработка сети, соответствующей логистической регрессии, на примере задачи распознавания рукописных цифр.	22	4	4		8	14
Сверточные нейронные сети.	22	4	4		8	14
Визуализация фильтров/выходов на промежуточных слоях сети.	22	4	4		8	14
Рекуррентные нейронные сети и их развитие.	22	4	4		8	14
Обучение без учителя.	23	4	4		8	15
Перенос обучения (transfer learning) глубоких нейронных сетей.	23	4	4		8	15
Текущий контроль (КСР)	2				2	
Промежуточная аттестация – экзамен	36					
<b>Итого</b>	<b>216</b>	<b>32</b>	<b>32</b>		<b>66</b>	<b>114</b>

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме опросов на занятиях семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в форме экзамена.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов подразделяется на следующие категории:

- Изучение учебной литературы (см. перечень образовательных материалов).
- Индивидуальное или коллективное (в зависимости от оценки сложности работы преподавателем) выполнение лабораторных работ (см. пп. 5.2.2, 5.2.3).

Задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо	Отлично	Превосходно

компетенций (индикатора достижения компетенций)	Не зачтено		Зачтено				
	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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Знания</u>							
<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 незначительными 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 владения материалом. 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»

	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### Критерий оценивания лабораторной работы

Результаты работы	Оценка
Работа выполнена в полном объеме и в срок, результаты работы алгоритма корректные на тестовых примерах, проведены вычислительные эксперименты на трудоемких тестовых данных, результаты работы представлены преподавателю.	Зачтено
Работа не выполнена или выполнена не в полном объеме (программа работает некорректно на тестовых примерах, не проведены вычислительные эксперименты на трудоемких тестовых данных, результаты работы не представлены преподавателю).	Не зачтено

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1. Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции
<b>1) Введение в глубокое обучение (deep learning).</b> а) Что такое глубокое обучение (deep learning)? б) Истоки возникновения (связь с биологией). в) Примеры задач, которые решаются с использованием глубокого обучения. i) Задачи компьютерного зрения (computer vision): классификация изображений с большим числом категорий, детектирование объектов, семантическая сегментация изображений. ii) Задачи распознавания естественного языка: машинный перевод, генерация текстов естественного языка, грамматический разбор слов. iii) Другие примеры задач (генерация описания модели, задачи планирования).	ПК-4
<b>2) Классификация моделей по способу обучения.</b> а) Обучение с учителем (supervised learning): многослойные полностью связанные сети, сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети. б) Обучение без учителя (unsupervised learning): автокодировщик, ограниченная машина Больцмана (Restricted Boltzmann Machine, RBM), глубокая машина Больцмана.	ПК-11

<b>3) Многослойные полностью связанные сети (Fully-Connected Neural Networks, FCNN).</b> Многослойный персептрон (Multiple Layer Perceptron, MLP). a) Общая структура модели. b) Слои, функции активации и функции ошибки.	ПК-11
<b>4) Многослойные полностью связанные сети (Fully-Connected Neural Networks, FCNN)</b> a) Оптимизационная постановка задачи обучения многослойной нейронной сети. b) Метод обратного распространения ошибки (Back Propagation, BP). c) Стохастический градиентный спуск (Stochastic Gradient Descent, SGD). Настраиваемые параметры метода. d) Пример влияния параметров метода на скорость сходимости и результаты работы сети.	ПК-4
<b>5) Обзор библиотек глубокого обучения.</b> a) Открытые библиотеки глубокого обучения. Библиотека Caffe (C/C++, Python). b) Пример разработки сети, обучения и тестирования сети с использованием библиотек Torch (Lua), TensorFlow (Python), Caffe и MXNet	ПК-4
<b>6) Сверточные нейронные сети.</b> a) Структура модели. b) Возможные слои (свертка, pooling, dropout, Local Contrast Normalization, Batch Normalization и другие). c) Функции активации (сигмоидальные, ReLU). d) Функции ошибки.	ПК-4
<b>7) Сверточные нейронные сети.</b> a) Оптимизационная постановка задачи обучения сверточной нейронной сети. b) Метод обратного распространения ошибки для сверточных нейронных сетей. c) Пример простейшей сверточной нейронной сети. Структура сети; Влияния параметров метода обучения. d) Определение числа обучаемых параметров. Оценка объема памяти, необходимой для хранения сети. e) Принципы построения и оптимизации сверточных сетей.	ПК-11
<b>8) Визуализация фильтров/выходов на промежуточных слоях сети.</b> e) Классификация методов визуализации признаков. f) Открытые библиотеки для визуализации. g) Визуализация фильтров и выходов слоев в библиотеке Caffe и Torch.	ПК-4
<b>9) Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие.</b> h) Общая структура модели. i) Полностью рекуррентная нейронная сеть. j) Примеры простейших сетей: сеть Эльмана, сеть Хопфилда. Двухнаправленные рекуррентные нейронные сети. k) Глубокие двухнаправленные рекуррентные нейронные сети. l) Рекурсивные нейронные сети. m) Длинные рекуррентные нейронные сети с короткой памятью.	ПК-11
<b>10) Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие.</b> n) Проблемы обучения рекуррентных сетей. Развертывание	ПК-4

рекуррентной сети во времени и адаптация метода обратного распространения ошибки.	
<b>11) Обучение без учителя.</b> о) Автокодировщик и стек автокодировщиков. Применение метода обратного распространения ошибки для обучения сети.	ПК-4
<b>12) Обучение без учителя.</b> p) Разверточные нейронные сети. q) Ограниченная машина Больцмана. Глубокая машина Больцмана (Deep Boltzmann machine, DBM). r) Пример применения для начальной настройки параметров модели. Глубокая доверительная сеть.	ПК-11
<b>13) Перенос обучения (transfer learning) глубоких нейронных сетей.</b> s) Полное обучение параметров всех слоев сети с произвольной начальной инициализацией. t) Обучение всех слоев параметров всех слоев сети с начальной инициализацией, полученной в результате обучения модели для решения исходной задачи. u) Обучение только последних слоев (измененных) сети с начальной инициализацией, полученной в результате обучения модели для решения исходной задачи.	ПК-4



### **5.2.2. Типовые темы лабораторных работ для оценки компетенции ПК-4**

#### *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*

Визуализация фильтров, полученных на всех сверточных слоях нейронных сетей, построенных в предыдущей лабораторной работы. Модификация параметров сетей и их конфигураций с целью повышения качества их работы. (по материалам лекции №5).

Ресурс: Визуализация фильтров и выходов слоев в Caffe  
[<http://nbviewer.jupyter.org/github/BVLC/caffe/blob/master/examples/00-classification.ipynb>].

### **5.2.3. Типовые темы лабораторных работ для оценки компетенции ПК-11**

#### *Лабораторная работа №5*

Разработка рекуррентных нейронных сетей и их разновидностей для решения той же задачи, что и в предыдущих работах. Проведение экспериментов с разными конфигурациями сетей. Сбор результатов качества работы сетей. (по материалам лекции №6).

Ресурс: 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](http://deeplearning.cs.cmu.edu/pdfs/Hochreiter97_lstm.pdf)].

#### *Лабораторная работа №6*

Начальная настройка весов разработанных ранее нейронных сетей. Проведение экспериментов. Сбор результатов качества работы сетей с предварительной настройкой весов. (по материалам лекции №6).

Ресурс:  
[<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.727.9680&rep=rep1&type=pdf>].

#### *Лабораторная работа №7*

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.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- Воронцов К.В. Машинное обучение. Курс лекций. <http://www.machinelearning.ru>.
- Золотых Н.Ю. Машинное обучение. Курс лекций. Нижний Новгород: ННГУ, 2007. <http://www.uic.nnov.ru/~zny/ml>.

б) дополнительная литература:

- Уменьшение количества параметров. Замена сверточных слоев большой размерности стеком сверток более низкой размерности [<https://arxiv.org/pdf/1409.1556.pdf>].
- Более эффективное разделение пространства признаков за счет использования полностью связанных слоев. Замена полностью связанных слоев на сверточные [<https://arxiv.org/pdf/1312.4400v3.pdf>].
- Принципы построения сверточных сетей [<https://arxiv.org/pdf/1512.00567v3.pdf>].
- Проблема деградация модели. Глубокие остаточные сети (Deep Residual Networks) [<https://arxiv.org/pdf/1512.03385v1.pdf>].
- Классификация методов визуализации признаков [<https://arxiv.org/pdf/1606.07757.pdf>].
- Визуализация фильтров и выходов слоев в Caffe [<http://nbviewer.jupyter.org/github/BVLC/caffe/blob/master/examples/00-classification.ipynb>].
- Визуализация фильтров и выходов слоев в Torch [<https://github.com/facebook/iTorch>].
- Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие [<http://www.deeplearningbook.org/contents/rnn.html>].
- 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](http://deeplearning.cs.cmu.edu/pdfs/Hochreiter97_lstm.pdf)].
- Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие [<http://www.deeplearningbook.org/contents/rnn.html>].
- 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

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и лабораторного типа), оснащенные оборудованием и 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 01.04.02 Прикладная математика и информатика.

Авторы: \_\_\_\_\_ Н.Ю. Золотых  
\_\_\_\_\_ В.Д. Кустикова

Рецензент: \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Н.Ю. Золотых

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от «30» ноября 2022 г. № 13.