

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  
от 30.11.2022 г. протокол № 13

## **Рабочая программа дисциплины**

**Глубокое обучение**

---

Уровень высшего образования  
**магистратура**

---

Направление подготовки  
**010402 Прикладная математика и информатика**

---

Направленность образовательной программы  
**Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии**

---

Форма обучения  
**очная**

---

Нижний Новгород  
2022

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

### Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина (Б1.В.02) 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<br>(код, содержание компетенции)  | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции                                |  | Наименование оценочного средства       |
|---|--|--|--|
|   | Индикатор достижения компетенции<br>(код, содержание индикатора)   | Результаты обучения по дисциплине  |  |
| <i>ПК-4<br/>Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач</i> | <i>ПК-4.1. Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</i>                   | <i>ЗНАТЬ<br/>Типовые модели глубокого обучения.</i>  | Собеседование (зачет)                  |
|   | <i>ПК-4.2. Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</i>         | <i>УМЕТЬ<br/>Применять типовые модели глубокого обучения для решения научных проблем и задач.</i>      | 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<br/>Навыками построения моделей глубокого обучения для решения научных проблем и задач.</i> | Лабораторная работа (текущий контроль) |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| <b>ПК-11</b><br>Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности | <b>ПК-11.1.</b> Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач                   | <b>ЗНАТЬ</b><br>Алгоритмы и методы глубокого обучения.  | Собеседование (зачет)                  |
|  | <b>ПК-11.2.</b> Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач         | <b>УМЕТЬ</b><br>Применять на практике алгоритмы и методы глубокого обучения для решения задач производственно-технологической деятельности. | Лабораторная работа (текущий контроль) |
|  | <b>ПК-11.3</b> Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач | <b>ВЛАДЕТЬ</b><br>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>3 ЗЕТ</b>         |
| <b>Часов по учебному плану</b>                 | <b>108</b>           |
| <b>в том числе</b>                             |                      |
| <b>аудиторные занятия (контактная работа):</b> | <b>65</b>            |
| – занятия лекционного типа                     | 32                   |
| – занятия семинарского типа                    | 32                   |
| – занятия лабораторного типа                   | 0                    |
| – текущий контроль (КСР)                       | 1                    |
| <b>самостоятельная работа</b>                  | <b>43</b>            |
| <b>Промежуточная аттестация: зачет</b>         | <b>0</b>             |

#### 3.2. Содержание дисциплины

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

|  |            | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем),<br>часы<br>из них |                                 |                                  |                              | Самостоятельная<br>работа обучающегося, часы |
|--|------------|--|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--|
|  |            | Занятия<br>лекционного<br>типа   | Занятия<br>семинарского<br>типа | Занятия<br>лабораторного<br>типа | Всего<br>контактных<br>часов |  |
| Введение в глубокое обучение (deep learning).  | 13         | 4  | 4                               |                                  | 8                            | 5  |
| Многослойные полностью связанные сети.   | 13         | 4  | 4                               |                                  | 8                            | 5  |
| Обзор библиотек глубокого обучения. Разработка сети, соответствующей логистической регрессии, на примере задачи распознавания рукописных цифр. | 13         | 4  | 4                               |                                  | 8                            | 5  |
| Сверточные нейронные сети.   | 13         | 4  | 4                               |                                  | 8                            | 5  |
| Визуализация фильтров/выходов на промежуточных слоях сети.   | 13         | 4  | 4                               |                                  | 8                            | 5  |
| Рекуррентные нейронные сети и их развитие.   | 14         | 4  | 4                               |                                  | 8                            | 6  |
| Обучение без учителя.  | 14         | 4  | 4                               |                                  | 8                            | 6  |
| Перенос обучения (transfer learning) глубоких нейронных сетей.   | 14         | 4  | 4                               |                                  | 8                            | 6  |
| Текущий контроль (КСР)   | 1          |  |                                 |                                  | 1                            |  |
| Промежуточная аттестация – зачет   | 0          |  |                                 |                                  |                              |  |
| <b>Итого</b>   | <b>108</b> | <b>32</b>  | <b>32</b>                       |                                  | <b>65</b>                    | <b>43</b>                                    |

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

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

Промежуточная аттестация проходит в форме зачета.

#### **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 компетенций (индикатора достижения компетенций) | Шкала оценивания сформированности компетенций  |   |   |   |  |  |  |
|--|--|---|---|---|--|--|--|
|  | Плохо  | Неудовлетворительно   | Удовлетворительно   | Хорошо  | Очень хорошо   | Отлично  | Превосходно  |
|  | Не зачтено   |   | Зачтено   |   |  |  |  |
| <u>Знания</u>  | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможно 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>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><br>а) Что такое глубокое обучение (deep learning)?<br>б) Истоки возникновения (связь с биологией).<br>в) Примеры задач, которые решаются с использованием глубокого обучения.<br>i) Задачи компьютерного зрения (computer vision): классификация изображений с большим числом категорий, детектирование объектов, семантическая сегментация изображений.<br>ii) Задачи распознавания естественного языка: машинный перевод, генерация текстов естественного языка, грамматический разбор слов.<br>iii) Другие примеры задач (генерация описания модели, задачи планирования). | ПК-4            |
| <b>2) Классификация моделей по способу обучения.</b><br>а) Обучение с учителем (supervised learning): многослойные полностью связанные сети, сверточные нейронные сети, рекуррентные  | ПК-11           |

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

|  |       |
|--|-------|
| m) Длинные рекуррентные нейронные сети с короткой памятью.   |       |
| <b>10) Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) и их развитие.</b><br>n) Проблемы обучения рекуррентных сетей. Развертывание рекуррентной сети во времени и адаптация метода обратного распространения ошибки.  | ПК-4  |
| <b>11) Обучение без учителя.</b><br>o) Автокодировщик и стек автокодировщиков. Применение метода обратного распространения ошибки для обучения сети.   | ПК-4  |
| <b>12) Обучение без учителя.</b><br>p) Разверточные нейронные сети.<br>q) Ограниченная машина Больцмана. Глубокая машина Больцмана (Deep Boltzmann machine, DBM).<br>r) Пример применения для начальной настройки параметров модели. Глубокая доверительная сеть.  | ПК-11 |
| <b>13) Перенос обучения (transfer learning) глубоких нейронных сетей.</b><br>s) Полное обучение параметров всех слоев сети с произвольной начальной инициализацией.<br>t) Обучение всех слоев параметров всех слоев сети с начальной инициализацией, полученной в результате обучения модели для решения исходной задачи.<br>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

Заведующий кафедрой      Р.Г. Стронгин

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.