

Санкт-Петербургский филиал федерального государственного  
автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский университет  
"Высшая школа экономики"»

Факультет Санкт-Петербургская школа  
физико-математических и компьютерных наук  
Департамент информатики

**Рабочая программа дисциплины**  
Глубинное обучение

для образовательной программы «Прикладная математика и информатика»  
направления подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»  
уровень бакалавриат

Разработчик: Шпильман Алексей Александрович, alexey@shpilman.com

Утверждена Академическим руководителем образовательной программы

«31» августа 2018 г.

А.В. Омельченко



---

Санкт-Петербург, 2018

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.*

## 1. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину «Глубинное обучение», учебных ассистентов и студентов направления 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» подготовки бакалавра, обучающихся по бакалаврской программе «Прикладная математика и информатика» и изучающих дисциплину «Глубинное обучение».

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» (уровень бакалавриата), утвержденным ученым советом Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», протокол от 03.03.2017 №02.
- Основной профессиональной образовательной программой «Прикладная математика и информатика» направления подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»;
- Объединенным учебным планом университета по образовательной программе «Прикладная математика и информатика», утвержденным в 2018 г.

## 2. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Глубинное обучение» являются формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков по основам построения больших нейронных сетей для глубинного обучения.

Глубинное обучение – популярная область, в которой используются нейронные сети сложной архитектуры. Подобные системы дают лучшие результаты в таких областях как обработка изображений, видео, звука и текста. В рамках курса будут рассмотрены основные типы архитектур, принципы работы и обучения глубоких нейронных сетей, а также проведены практические занятия по вышеупомянутым областям применения.

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен:

- знать способы построения глубоких нейронных сетей,
- уметь применять глубинное обучение для решения характерных задач,
- иметь навыки (приобрести опыт) применения математического аппарата и алгоритмов работы с глубинными нейронными сетями.

В результате освоения дисциплины студент осваивает следующие компетенции:

Компетенция	Код по ОС НИУ ВШЭ	Уровень формирования компетенции	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции	Форма контроля уровня сформированности компетенции
-------------	-------------------	----------------------------------	---	---	--

Способен осуществлять производственную или прикладную деятельность в международной среде	УК-10	РБ  СД  МЦ	Знает основные типы задач, решаемых с использованием глубинного обучения. Разрабатывает архитектуру, реализует, обучает и производит оптимизацию параметров нейронных сетей. Решает прикладные задачи из различных областей с использованием глубокого обучения.	Лекции, подготовка к практическим занятиям, работа на практических занятиях, самостоятельная работа	Домашние задания, устный экзамен
Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1	РБ  СД  МЦ	Знает алгоритмы оптимизации глубоких нейронных сетей основанные на различных вариациях градиентного спуска Производит настройку таких алгоритмов исходя из условий конкретной задачи. Интерпретирует выходные значения нейронных сетей, основываясь на методах математической статистики и теории вероятностей.	Лекции, подготовка к практическим занятиям, работа на практических занятиях, самостоятельная работа	Домашние задания, устный экзамен
Способен применять и модифицировать математические модели для решения задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3	РБ  СД  МЦ	Знает основные архитектуры нейронных сетей применяемых для классификации изображений. Производит модификацию слоев и различных параметров для решения прикладных задач. Применяет сети для решения задач классификации изображения, сегментации изображения и видеопотока.	Лекции, подготовка к практическим занятиям, работа на практических занятиях, самостоятельная работа	Домашние задания, устный экзамен

<p>Способен вести письменную и устную коммуникацию на русском и иностранном языках в рамках профессионального и научного общения</p>	<p>ОПК-5</p>	<p>РБ  СД  МЦ</p>	<p>Знает общую, общенаучную и деловую лексику применяемую в области глубокого обучения. Получает из статей (в том числе на английском языке) информацию об устройстве нейронной сети и используемых признаков для решения конкретной задачи. Описывает, представляет и анализирует результаты применения методов глубокого обучения для решения прикладных задач.</p>	<p>Лекции, подготовка к практическим занятиям, работа на практических занятиях, самостоятельная работа</p>	<p>Домашние задания, устный экзамен</p>
<p>Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований в области математики и компьютерных наук, необходимых для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям</p>	<p>ПК-1</p>	<p>РБ  СД  МЦ</p>	<p>Знает методологию описания структуры нейронной сети, а также различные способы получения признаков из исходных данных. Применяет механизмы Attention, GAN, VAE к имеющимся архитектурам для достижения лучших результатов в конкретной прикладной задаче. Работает с датасетами в различных областях.</p>	<p>Лекции, подготовка к практическим занятиям, работа на практических занятиях, самостоятельная работа</p>	<p>Домашние задания, устный экзамен</p>
<p>Способен разрабатывать и реализовывать в виде программного модуля алгоритм решения поставленной теоретической или прикладной задачи на основе математической модели</p>	<p>ПК-2</p>	<p>РБ  СД  МЦ</p>	<p>Знает основные библиотеки языка Python используемые для анализа данных, а также создания, обучения и использования нейронных сетей. Реализует обработку исходных данных, выделяет признаки, семплирует, обучает нейронную сеть. Владеет навыками программного экспорта обученной</p>	<p>Лекции, подготовка к практическим занятиям, работа на практических занятиях, самостоятельная работа</p>	<p>Домашние задания, устный экзамен</p>

			модели для последующего использования при решении прикладных задач.		
--	--	--	---	--	--

#### 4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Для образовательной программы «Прикладная математика и информатика» направления подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» настоящая дисциплина относится к циклу дисциплин по выбору.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, полученные в ходе изучения дисциплин:

- Машинное обучение;
- Методы оптимизации.

Основные положения данной дисциплины используются для освоения следующих дисциплин:

- Анализ изображений;
- Обработка естественного языка;
- Распознавание и генерация речи.

#### 5. Тематический план учебной дисциплины

Курс рассчитан на 60 часов аудиторной нагрузки, из них 30 часов лекций и 30 часов практических занятий, общим объемом 4 зачетных единиц (152 часа).

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы			Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	Практические занятия	
1	Алгоритмы оптимизации и регуляризации	38	8	-	8	22
2	Обработка и анализ изображений	38	7	-	7	24
3	Обработка естественного языка, конкурентные и генеративные нейронные сети	38	8	-	8	22
4	Оптимизация гиперпараметров, обучение с подкреплением	38	7	-	7	24
ИТОГО		152	30	-	30	92

#### 6. Содержание дисциплины

##### Раздел 1

Алгоритмы оптимизации и регуляризации

Тема 1	Алгоритмы оптимизации и регуляризации глубоких нейронных сетей Алгоритмы оптимизации глубоких нейронных сетей: градиентный спуск, стохастический градиентный спуск, адаптивный градиентный спуск, импульс Нестерова. Регуляризация нейронных сетей: dropout, dropconnect, ранняя остановка, изменение скорости обучения.
<u>Раздел 2</u> Обработка и анализ изображений	
Тема 1	Классификация изображений с помощью сверточных нейронных сетей Сверточные нейронные сети, понятие свертки. Основные сети классификации изображений: AlexNet, VGG, ResNet, GoogLeNet.
Тема 2	Детектирование объектов и сегментация изображений Задача детектирования объекта и сегментации изображения. Регионные нейронные сети, регрессия вписывающего прямоугольника. Полностью сверточные нейронные сети. Обратная свертка.
<u>Раздел 3</u> Обработка естественного языка, конкурентные и генеративные нейронные сети	
Тема 1	Векторное представление слов и обработка естественного языка с помощью рекуррентных нейронных сетей Понятие векторного представления слов. Задача построения векторного пространства слов. Задача определения эмоциональной окраски текста. Рекуррентные нейронные сети. LSTM, GRU, SRU.
Тема 2	Конкурентные и генеративные нейронные сети Генеративные нейронные сети. Постановка задачи генерации выборки. Генеративные нейронные сети: GAN, VAE. Применение конкурентных нейронных сетей для доменной адаптации.
<u>Раздел 4</u> Оптимизация гиперпараметров, обучение с подкреплением	
Тема 1	Оптимизация гиперпараметров нейронных сетей с помощью байесовских методов и методов стохастического поиска.
Тема 2	Глубокое обучение с подкреплением. Применение глубоких нейронных сетей в задачах обучения с подкрепления. Актор и критик.

## 7. Оценочные средства

### 7.1. Формы контроля знаний студентов

Тип контроля	Форма контроля	4 год		Параметры
		1 модуль	2 модуль	
Текущий	Домашнее задание №1	*		Письменное домашнее задание
	Домашнее задание №2		*	Письменное домашнее задание

	Домашнее задание №3		*	Письменное домашнее задание
Итоговый	Устный экзамен		*	Экзамен в устной форме

## 7.2. Критерии и шкалы оценки, примеры заданий

### 7.2.1. Текущий контроль

Текущий контроль по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств.

#### ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №1

*Домашнее задание №1 выдается студентам в одном варианте и состоит из 3 задач. Срок выполнения домашнего задания - 4 недели. Форма представления обучающимися домашнего задания – реализованный на любом языке программирования алгоритм.*

##### Пример домашнего задания №1:

Задача 1. (3 балла) Реализуйте алгоритм адаптивного градиентного спуска и примените его для задачи регрессии.

Задача 2. (4 балла) Примените метод dropout для сети AlexNet.

Задача 3. (3 балла) Выведите таблицу сверток сети VGG для решения задачи классификации датасетов ImageNet и CIFAR.

##### Критерии оценивания и шкала оценки домашнего задания №1

Оценка	Критерии выставления оценки
«Отлично» (8-10)	Решено заданий на 8 и более баллов
«Хорошо» (6-7)	Решено заданий на 6-7 баллов
«Удовлетворительно» (4-5)	Решено заданий на 4-5 баллов
«Неудовлетворительно» (0-3)	Решено заданий на менее 4 баллов

#### ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №2

*Домашнее задание №2 выдается студентам в одном варианте и состоит из 3 задач. Срок выполнения домашнего задания - 4 недели. Форма представления обучающимися домашнего задания - реализованный на любом языке программирования алгоритм.*

##### Пример домашнего задания № 2:

Задача 1 (максимум 3 балла за правильно выполненную задачу):

Реализуйте сеть R-CNN для задачи детектирования объектов датасета ImageNet.

Задача 2 (максимум 3 балла за правильно выполненную задачу):

Реализуйте сеть FCNN для задачи сегментации изображений датасета ImageNet.

Задача 3 (максимум 4 балла за правильно выполненную задачу):

С помощью датасета IMDB создайте векторное представление часто встречающихся слов и примените линейный алгоритм классификации по среднему вектору предложения для предсказания эмоциональной окраски отзыва.

### Критерии оценивания и шкала оценки домашнего задания №2

Оценка	Критерии выставления оценки
«Отлично» (8-10)	Решено заданий на 8 и более баллов
«Хорошо» (6-7)	Решено заданий на 6-7 баллов
«Удовлетворительно» (4-5)	Решено заданий на 4-5 баллов
«Неудовлетворительно» (0-3)	Решено заданий на менее 4 баллов

### ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №3

Домашнее задание №3 выдается студентам в одном варианте и состоит из 3 задач. Срок выполнения домашнего задания - 4 недели. Форма представления обучающимися домашнего задания - реализованный на любом языке программирования алгоритм.

#### Пример домашнего задания №3:

Задача 1 (максимум 3 балла за правильно выполненную задачу):

Реализуйте алгоритм VAE для задачи генерации выборки датасета FashionMnist и отобразите получившееся двумерное латентное пространство.

Задача 2 (максимум 3 балла за правильно выполненную задачу):

Реализуйте систему актор-критик для окружения Atari Breakout.

Задача 3. (максимум 4 балла за правильно выполненную задачу):

Оптимизируйте параметры сети AlexNet с помощью байесовских методов оптимизации.

### Критерии оценивания и шкала оценки домашнего задания №3

Оценка	Критерии выставления оценки
«Отлично» (8-10)	Решено заданий на 8 и более баллов
«Хорошо» (6-7)	Решено заданий на 6-7 баллов
«Удовлетворительно» (4-5)	Решено заданий на 4-5 баллов
«Неудовлетворительно» (0-3)	Решено заданий на менее 4 баллов

### 7.2.2. Итоговый контроль по дисциплине

Проверка качества освоения дисциплины производится в форме устного экзамена.

#### УСТНЫЙ ЭКЗАМЕН

Устный экзамен проводится в форме ответов на вопросы экзаменационного билета.



Экзаменационный билет содержит два вопроса из перечня вопросов к экзамену. Возможны дополнительные вопросы, в случае если экзаменуемый недостаточно подробно ответил на вопросы билета. На подготовку ответа выделяется 2,5 часа.

Примерный перечень вопросов к экзамену, в том числе и дополнительных:

1. Функции ошибки. Smooth L1. Bounding Box Regression. Triplet Loss.
2. Генерирующие сети. Variational Autoencoder.
3. Функция активации. ReLU, LeakyReLU, PReLU, MaxOut.
4. Классификация изображений. AlexNet, VGGnet, GoogLeNet.
5. Attention, Inner-Attention, Gated Attention.
6. Сегментация изображений. FCN. Upsampling.
7. Ограниченные машины Больцмана (RBM). Глубокие сети доверия.
8. Рекурсивные нейронные сети. Синтаксический разбор предложения с помощью RNN. Субградиент.
9. Skip connections. ResNet. DenseNet. Highway connection.
10. Генерирующие сети. Generative Adversarial Network.
11. Оптимизаторы. Adagrad, Adadelta, RMSProp.
12. Распознавание речи. Connectionist Temporal Classification. Deep Speech. CNN Speech Recognition.
13. Векторное представление слов. Матрица совместной встречаемости. Word2Vec. CBOW, Skip-Gram, GloVe.
14. Глубинное обучение с подкреплением. Actor-critic. Deep Q-learning Network.
15. Регуляризация. L1, L2, Elastic Net. Maxnorm. Dropout, Dropconnect.
16. Нейроэволюция. Типы нейроэволюции. Genetic CNN. CoDeepNEAT.
17. Оптимизаторы. Стохастический градиентный спуск. Импульс. Импульс Нестерова.
18. Поиск объекта на изображении. Region Proposal Network. R-FCN.
19. Оптимизаторы. Adam. NAdam.
20. Поиск объекта на изображении. IoU, mAP. R-CNN. Fast R-CNN.

### Критерии оценивания и шкала оценки устного экзамена

Оценка	Критерии выставления оценки
«Отлично» (8-10)	Обучающийся глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически его излагает, не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами и практическими заданиями, правильно обосновывает принятые решения, умеет самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок.
«Хорошо» (6-7)	Обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических заданий.
«Удовлетворительно» (4-5)	Обучающийся усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий.
«Неудовлетворительно» (0-3)	Обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические задания, задачи.

### 7.3 Порядок формирования оценок по дисциплине

Преподаватель учитывает оценку за текущий контроль (домашние задания).

$$O_{\text{накопленная}} = \frac{O_{д/з1} + O_{д/з2} + O_{д/з3}}{3}$$

Действует следующий способ округления накопленной оценки за текущий контроль: при значениях от 0,1 до 0,4 оценка округляется в меньшую сторону, от 0,5 до 0,9 – в большую.

Результирующая оценка за дисциплину рассчитывается следующим образом:

$$O_{\text{Результирующая}} = 0,5 O_{\text{накопленная}} + 0,5 O_{\text{экзамен}}$$

На экзамене студенту не предоставляется возможность получить дополнительный балл для компенсации оценки за текущий контроль.

## 8. Образовательные технологии

Основными образовательными технологиями являются: интерактивные лекции, работа в группах на практических занятиях.

## 9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 9.1 Основная литература

1. Neural Networks and Deep Learning / By: Aggarwal. Springer International Publishing. 2018
2. Introduction to Deep Learning / Skansi; Wheeler. Springer International Publishing. 2018

### 9.2 Дополнительная литература

1. Evolutionary Approach to Machine Learning and Deep Neural Networks: Neuro-Evolution and Gene Regulatory Networks / By: Iba, Hitoshi. Springer. 2018
2. Mathematics of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic / Barnabas Bede; Di Cecco. Springer Berlin Heidelberg. 2013
3. Artificial Neural Networks / Ivan Nunes da Silva; James. Springer International Publishing. 2017

## 10. Рекомендации для самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа может рассматриваться как организационная форма обучения – система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью по освоению знаний и умений в области учебной деятельности без посторонней помощи. Студенту нужно четко понимать, что самостоятельная работа – не просто обязательное, а необходимое условие для получения знаний по дисциплине и развитию компетенций, необходимых в будущей профессиональной деятельности.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных на лекциях теоретических знаний;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа, не предусмотренная программой учебной дисциплины, раскрывающей и конкретизирующей ее содержание, осуществляется студентом инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует источники для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференцированный характер, учитывать индивидуальные особенности студента.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов online и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине на практических занятиях.

## **11. Материально-техническое обеспечение дисциплины и информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения информационных справочных систем (при необходимости).**

Для проведения всех занятий используется проектор и компьютер для проекции слайдов. Для самостоятельной работы необходимо следующее ПО: Python.

## **12. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья**

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

1) *для лиц с нарушениями зрения:* в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

2) *для лиц с нарушениями слуха:* в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

3) *для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:* в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.