

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ  
Кафедра технической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой технической  
кибернетики



О.Я. Бежаева  
(подпись, инициалы, фамилия)  
«01» сентября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Нейронные сети и машинное обучение  
(наименование дисциплины)

ОПОП ВО 47.04.01 Философия  
*шифр и наименование направления подготовки (специальности)*

направленность (профиль, специализация) «Философия искусственного интеллекта»  
*наименование направленности (профиля, специализации)*

форма обучения очно-заочная  
*(очная, очно-заочная, заочная)*

Разработчик программы: канд. техн. наук, доцент Светлана Валерьевна Сильнова

**СОГЛАСОВАНО:** *руководитель образовательной программы  
д.филос., наук, профессор БашГУ Елхова О.И.*



Уфа – 2022

# 1 Цель и задачи дисциплины. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы

## 1.1 Цель дисциплины

Целью дисциплины является формирование у будущих магистров в области философии теоретических знаний и практических навыков по использованию нейронных сетей для решения задач анализа, классификации, прогнозирования при исследовании и управлении объектами профессиональной деятельности.

## 1.2 Задачи дисциплины

Формирование знания о принципах формирования искусственных нейронных систем (ИНС), изучение основных архитектур и алгоритмов обучения ИНС;

Приобретения умения выбирать архитектуру и алгоритм обучения ИНС при исследовании и управлении объектами профессиональной деятельности;

Формирование понятийного аппарата в области машинного обучения.

## 1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы

Таблица 1.3 – Результаты обучения по дисциплине

<i>Планируемые результаты освоения основной профессиональной образовательной программы (компетенции, закрепленные за дисциплиной)</i>		<i>Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций</i>
<i>код компетенции</i>	<i>наименование компетенции</i>	
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	<b>Знать:</b> цели и области применения ИНС и машинного обучения при исследовании и управлении объектами профессиональной деятельности; <b>Уметь:</b> осуществлять выбор архитектуры ИНС при выполнении исследования и управлении объектами профессиональной деятельности;
ОПК-1	Способен применять в сфере своей профессиональной деятельности при решении нестандартных задач категории и принципы, характеризующие современные проблемы философии, предлагать и аргументированно обосновывать способы их решения	<b>Знать:</b> основные архитектуры ИНС и специфику искусственных нейронных сетей различных архитектур; <b>Уметь:</b> применять ИНС для решения задач аппроксимации, прогнозирования, классификации, распознавания образов; применения;
ОПК-4	Способен вести экспертную работу представлять ее итоги в виде отчетов, оформленных в соответствии с имеющимися требованиями	<b>Знать:</b> основные правила и алгоритмы обучения ИНС; <b>Владеть навыками:</b> оценивания качества обучения различных моделей искусственных нейронных сетей.

## 2 Указание места дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина «Нейронные сети и машинное обучение» входит в обязательную часть блока 1 «Дисциплины (модули)» основной профессиональной образовательной программы бакалавриата

47.04.01 – Философия, направленность (профиль, специализация) «Философия искусственного интеллекта». Дисциплина изучается на 1 курсе во 2 семестре.

**3 Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 4 зачетных единиц (з.е.),  
144 академических часов.

Таблица 3 – Объем дисциплины

Виды учебной работы	Всего, часов
Общая трудоемкость дисциплины	<b>144</b>
Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий (всего)	<b>21,2</b>
в том числе:	
лекции	12
практические занятия	8
ФКР	1,2
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	<b>95,8</b>
Контроль (экзамен)	<b>27</b>

**4 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Содержание дисциплины**

Таблица 4.1.1 – Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Содержание
1	Принципы организации, обучения и функционирования ИНС	Биологический нейрон и его математическая модель. Искусственный нейрон: комбинированный вход и активационная функция. Однослойные искусственные нейронные сети. Многослойные искусственные нейронные сети. Обучение искусственных нейронных сетей. Обучение с учителем. Обучение без учителя. Персептрон. Обучение персептрона. Линейная разделимость и персептронная разделяемость.
2	Сеть обратного распространения	Простая двухслойная сеть с обратным распространением ошибки. Вывод функции ошибки для корректировки синоптических весов. Алгоритм обучения сети обратного распространения. Пример обучения сети алгоритмом обратного распространения ошибки. Замечания по применению алгоритма. Недостатки алгоритма обратного распространения ошибки: паралич сети; локальные минимумы (ловушки); размер шага (медленная сходимость); переобучение (перетренировка) сети.
3	Сеть встречного распространения	Сеть Кохонена. Классификация образов. Алгоритм обучения сети Кохонена. Замечание по алгоритму. Пример обучения сети Кохонена. Проблемы обучения сети Кохонена: выбор коэффициента обучения $\alpha$ , выбор функции соседства, рандомизация весов, выбор параметра расстояния $s$ , выбор количества нейронов в слое. Нейроны Гроссберга. Входные и выходные звезды. Структурная схема, обучение и пример обучения инстара. Структурная схема оутстара. Двухслойная сеть встречного распространения и алгоритм ее обучения.
4	Сети с обратными связями	Сеть Хопфилда. Архитектура и нейродинамика сети. Понятие аттрактора в пространстве состояния сети. Ассоциативная память.

	Проблема устойчивости сети, функция энергии сети Хопфильда. Правила Хебба и обучение сети Хопфильда. Недостатки сети: игенерация ложных образов и малая емкость памяти. Процедура ортоганизации образов. Сеть Хэмминга. Архитектура, алгоритм функционирования сети. Сеть двунаправленной ассоциативной памяти.
--	---

Таблица 4.1.2 – Содержание дисциплины и его методическое обеспечение

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Виды деятельности			Учебно-методические материалы	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)	Компетенции
		лек ., час	лаб .	пр.			
1	Принципы организации, обучения и функционирования ИНС	2	-	2	У 8.1.1, Пр 1, МУ ПЗ1	отчет ПЗ 4н.	УК-2
2	Сеть обратного распространения	4	-	2	У 8.1.1, 8.2.1, 8.2.2 Пр 2, МУ ПЗ2	отчет ПЗ 5н.	ОПК-1 ОПК-4
3	Сеть встречного распространения	4	-	2	У 8.1.1, 8.2.1, 8.2.2 Пр 3, МУ ПЗ3	отчет ПЗ 6н.	ОПК-1 ОПК-4
4	Сети с обратными связями	2	-	2	У 8.1.1, 8.2.1, 8.2.2 Пр 4, МУ ПЗ4	отчет ПЗ 7н.	ОПК-1 ОПК-4

Пр презентация материала лекционных и практических занятий  
МУ ПЗ методические указания к практическому занятию

#### 4.2 Практические занятия

Таблица 4.2 – Практические занятия

№	Наименование лабораторной работы	Объем, час.
1	Изучение двухслойного персептрона	2
2	Алгоритм обратного распространения ошибки	2
3	Изучение инстара Гроссберга	2
4	распознавание образов сетью Хопфильда	2
Итого		

#### 4.3 Самостоятельная работа студентов (СРС)

Таблица 4.3 – Самостоятельная работа студентов

№	Наименование раздела (темы) дисциплины	Срок выполнения	Время, на выполнение СРС, час
1	Принципы организации, обучения и функционирования ИНС	2-3 недели	15,8
2	Сеть обратного распространения	4-8 недели	16
3	Сеть встречного распространения	9-12 недели	16
4	Сети с обратными связями	12-14 недели	16
Итого			95,8

#### 5 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Студенты могут при самостоятельном изучении отдельных тем и вопросов дисциплин пользоваться учебно-наглядными пособиями, учебным оборудованием и методическими разработками кафедры в рабочее время, установленное Правилами внутреннего распорядка работников.

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по данной дисциплине организуется:

*библиотекой университета:*

- библиотечный фонд укомплектован учебной, методической, научной, периодической, справочной и художественной литературой в соответствии с УП и данной РПД;
- имеется доступ к основным информационным образовательным ресурсам, информационной базе данных, в том числе библиографической, возможность выхода в Интернет.
- *кафедрой:*
- путем обеспечения доступности всего необходимого учебно-методического и справочного материала;
- путем предоставления сведений о наличии учебно-методической литературы, современных программных средств.
- путем разработки:
  - методических рекомендаций, пособий по организации самостоятельной работы студентов;
  - тем рефератов;
  - вопросов к промежуточной аттестации;
  - методических указаний к выполнению лабораторных работ, заданий практических занятий и т.д.

*типографией университета:*

- помощь авторам в подготовке и издании научной, учебной и методической литературы;
- удовлетворение потребности в тиражировании научной, учебной и методической литературы.

## **6 Образовательные технологии.**

Реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в образовательном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с самостоятельной внеаудиторной работой, в том числе в рамках курсового проектирования, с целью формирования общепрофессиональных компетенций обучающихся.

Таблица 6.1 – Интерактивные образовательные технологии, используемые при проведении аудиторных занятий

№	Наименование раздела (темы лекции, практического или лабораторного занятия)	Используемые интерактивные образовательные технологии	Объем, час.
1	Принципы организации, обучения и функционирования ИНС	<i>лекция-визуализация</i>	2
2	Сеть обратного распространения	<i>лекция-визуализация, обучение на основе опыта</i>	6
3	Сеть встречного распространения	<i>лекция-визуализация, обучение на основе опыта</i>	6
4	Сети с обратными связями	<i>лекция-визуализация, обучение на основе опыта</i>	4
<b>Итого:</b>			<b>18</b>

Содержание дисциплины обладает значительным воспитательным потенциалом, поскольку в нем аккумулирован научный-исследовательский, производственный опыт человечества. Реализация воспитательного потенциала дисциплины осуществляется в рамках единого образовательного и воспитательного процесса и способствует непрерывному развитию личности каждого обучающегося. Дисциплина вносит значимый вклад в формирование общепрофессиональной культуры обучающихся. Содержание дисциплины способствует профессионально-трудовому и культурно-творческому воспитанию обучающихся.

Реализация воспитательного потенциала дисциплины подразумевает:

– целенаправленный отбор преподавателем и включение в лекционный материал, материал для практических и (или) лабораторных занятий содержания, демонстрирующего обучающимся образцы подвижничества представителей данной отрасли науки, высокого профессионализма ученых, их ответственности за результаты и последствия деятельности для научно-технического прогресса общества, а также примеры творческого мышления;

– применение технологий, форм и методов преподавания дисциплины, имеющих высокий воспитательный эффект за счет создания условий для взаимодействия обучающихся с преподавателем, другими обучающимися, представителями работодателей (командная работа, проектное обучение);

– личный пример преподавателя, демонстрацию им в образовательной деятельности и общении с обучающимися за рамками образовательного процесса высокой общей и профессиональной культуры.

Реализация воспитательного потенциала дисциплины на учебных занятиях направлена на поддержание в университете единой развивающей образовательной и воспитательной среды. Реализация воспитательного потенциала дисциплины в ходе самостоятельной работы обучающихся способствует развитию в них целеустремленности, инициативности, креативности, ответственности за результаты своей работы – качеств, необходимых для успешной социализации и профессионального становления.

## 7 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Таблица 7.1 - Паспорт комплекта оценочных средств для текущего контроля успеваемости

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Технология формирования	Оценочные средства		Описание шкал оценивания
1	Принципы организации, обучения и функционирования ИНС	УК-2	лекции, практикум, СРС	ВЗ	1-15	зачтено – 61-100 балл незачтено – 0-60 балл
				Отчет ПЗ	1	зачтено – 61-100 балл незачтено – 0-60 балл
2	Сеть обратного распространения	ОПК-1 ОПК-4	лекции, практикум, СРС	ВЗ	16-25	зачтено – 61-100 балл незачтено – 0-60 балл
				Отчет ПЗ	2	зачтено – 61-100 балл незачтено – 0-60 балл
3	Сеть встречного распространения	ОПК-1 ОПК-4	лекции, практикум, СРС	ВЗ	26-41	зачтено – 61-100 балл незачтено – 0-60 балл
				Отчет ПЗ	3	зачтено – 61-100 балл незачтено – 0-60 балл
4	Сети с обратными связями	ОПК-1 ОПК-4	лекции, практикум, СРС	ВЗ	42-57	зачтено – 61-100 балл незачтено – 0-60 балл
				Отчет ПЗ	4	зачтено – 61-100 балл незачтено – 0-60 балл

ВЗ – вопросы к зачету

Примеры типовых контрольных заданий для проведения текущего контроля успеваемости

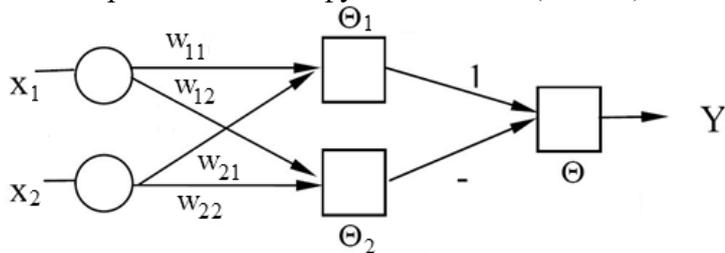
### Типовые задания практических занятий

#### 1. Типовое задание 1

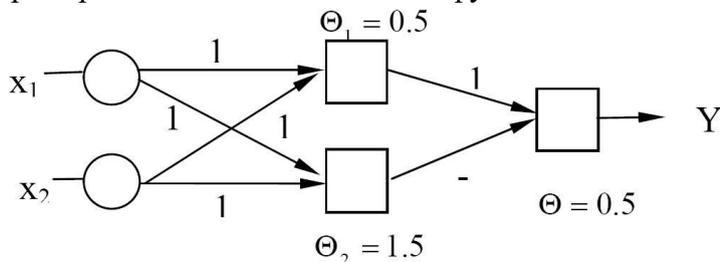
Раздел (тема) дисциплины: **Принципы организации, обучения и функционирования ИНС.**

Для двухслойной персептронной сети подберите значения весов и пороговых значений так,

чтобы сеть реализовывала функцию XOR (NXOR). Заполните таблицу истинности.



Пример выполнения задания для функции XOR.



$x_1$	$x_2$	$s_1$	$s_2$	$y_1$	$y_2$	$S$	$Y$
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	2	2	1	1	0	0

**Критерии оценки:**

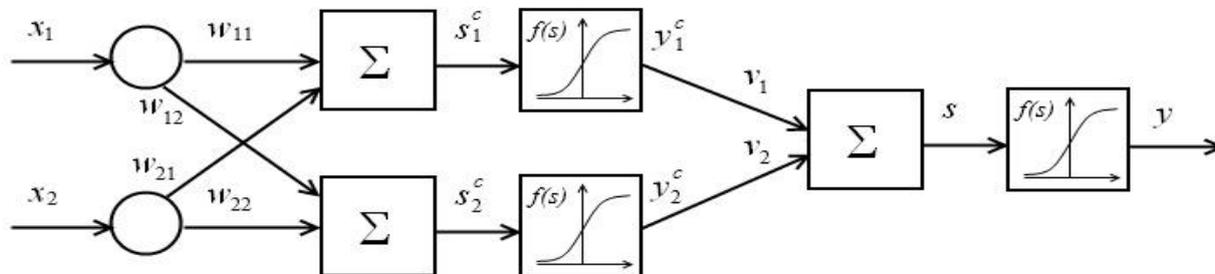
- оценка «зачтено» выставляется, если предложенные вариант значений весов и пороговых смещений оригинальны среди вариантов, представленными другими обучающимися группы, таблицы истинности подтверждают верное решение задачи (до 100 баллов).

- оценка «не зачтено» выставляется, если предложенный вариант значений весов и пороговых смещений повторяют какой-либо из вариантов, представленный другими обучающимися группы; если таблицы истинности показывают, не корректное решение задачи (до 60 баллов); обучающийся не выполнил задания (до 40 баллов).

2. Типовое задание 2

Раздел (тема) дисциплины: **Сеть обратного распространения.**

Дана двухслойная сеть с двумя входами и одним выходом. Цель – обучить сеть операции сложения. Обучающее множество:  $X=(x_1;x_2)$ ,  $D=(d)$ .



Инициализировать сеть, задав значения весов небольшими случайными числами в диапазоне (0;1). Выполнить прямой проход, вычислить выходной сигнал и значение ошибки. Выполнить обратный проход вычислить скорректированные значения весов синаптических связей.

Пример выполнения задания для  $X=(x_1;x_2)=(1;2)$ ,  $D=(d)=(3)$ .

$$1. W = \begin{vmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,1 & 0,2 \\ 0,1 & 0,2 \end{vmatrix}, \quad V = \begin{vmatrix} v_1 \\ v_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,2 \\ 0,1 \end{vmatrix}.$$

$$2. S^c = (s_1^c, s_2^c) = X \cdot W = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,3 & 0,6 \end{vmatrix}$$

$$y_1^c = f(s_1^c) = \frac{1}{1+e^{-0,3}} \approx 0,574. \quad y_2^c = f(s_2^c) = \frac{1}{1+e^{-0,6}} \approx 0,646.$$

$$Y^c = \begin{vmatrix} y_1^c & y_2^c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} f(s_1^c) & f(s_2^c) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,574 & 0,646 \end{vmatrix}.$$

$$s = \begin{vmatrix} y_1^c & y_2^c \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} v_1 \\ v_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,574 & 0,646 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0,2 \\ 0,1 \end{vmatrix} = 0,179.$$

$$E = \frac{1}{2}(y - f(d))^2 = \frac{1}{2}\left(y - \frac{1}{1+e^{-d}}\right)^2.$$

$$E = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{1+e^{-0,179}} - \frac{1}{1+e^{-3}}\right)^2 = \frac{1}{2}(0,545 - 0,952)^2 = \frac{1}{2}(-0,407)^2 = 0,0828.$$

$$3. \delta = (y - d)y(1 - y) = (0,545 - 0,952) \cdot 0,545 \cdot (1 - 0,545) = -0,101.$$

$$\frac{\partial E}{\partial v_1} = \delta \cdot y_1^c = -0,058; \quad \frac{\partial E}{\partial v_2} = \delta \cdot y_2^c = -0,065$$

$$v_1' = v_1 - \frac{\partial E}{\partial v_1} = 0,2 - (-0,058) = 0,258; \quad v_2' = v_2 - \frac{\partial E}{\partial v_2} = 0,1 - (-0,065) = 0,165.$$

$$V' = \begin{vmatrix} v_1' \\ v_2' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,258 \\ 0,165 \end{vmatrix}.$$

$$\delta_j^c = (\delta v_j) y_j^c (1 - y_j^c).$$

$$\delta v_1 = -0,101 \cdot 0,2 = -0,020; \quad \delta v_2 = -0,101 \cdot 0,1 = -0,010;$$

$$\delta_1^c = -0,005; \quad \delta_2^c = -0,002.$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{11}} = \delta_1^c \cdot x_1 = -0,005; \quad \frac{\partial E}{\partial w_{12}} = \delta_2^c \cdot x_1 = -0,002;$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{21}} = \delta_1^c \cdot x_2 = -0,010; \quad \frac{\partial E}{\partial w_{22}} = \delta_2^c \cdot x_2 = -0,004;$$

$$W' = \begin{vmatrix} 0,1 & 0,2 \\ 0,1 & 0,2 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} -0,005 & -0,002 \\ -0,010 & -0,004 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,105 & 0,202 \\ 0,110 & 0,204 \end{vmatrix}.$$

### Критерии оценки:

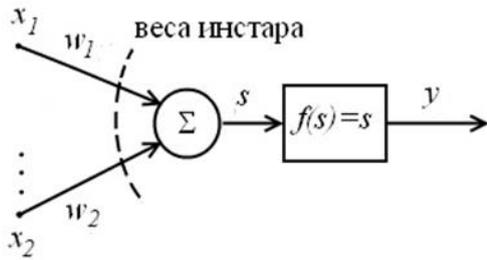
- оценка «зачтено» выставляется, если вычисления текущего значения выходного сигнала, значения ошибки выполнены верно, коррекция значений весов синаптических связей нейронов скрытого и выходного слоев выполнена верно (до 100 баллов).

- оценка «не зачтено» выставляется, если обучающийся не справился с заданием (до 60 баллов).

### Типовое задание 3

Раздел (тема) дисциплины: **Сеть встречного распространения.**

Дан двухвходовой инстар Гроссберга  $X_1 = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix}$ . Выполнить обучение с учителем.



На выходе инстара должен формироваться сигнал  $y=1$  при правильном распознавании входного вектора. Определить необходимое число итераций при коэффициенте обучения  $\alpha = 0,75$ . Вычислить значения весов для нужного числа итераций. Проверить результат обучения для входного вектора  $X_2 = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{pmatrix}$ . Вычисления вести для нормализованных векторов.

Пример выполнения задания.

$$X_1 = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,45 \\ 0,9 \end{pmatrix}.$$

1. Нормализация векторов выполняется по формуле  $x'_i = \frac{x_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}}$ .

$$X'_1 = \begin{pmatrix} 0,447214 \\ 0,894427 \end{pmatrix}.$$

2. Инициализация весов. В качестве начальных весов примем значения в диапазоне  $[0;1[$   
 $W=(w_1 \ w_2)=(0,5 \ 0,5)$ .

3. Вычисления весов для необходимого числа итераций по правилу

$$w_{ij}^{N+1} = w_{ij}^N + \alpha^N \cdot y_i (x_j - w_{ij}^N),$$

$$w_i^{n+1} = w_i^n + 0,75 \cdot 1(x_j - w_i^n),$$

ите- ра- ция, n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$w_1$	0,46041 02	0,450 513	0,448 038	0,447 42	0,447 265	0,447 226	0,447 217	0,447 214	0,447 214	0,447 214
$w_2$	0,79582 039	0,869 775	0,888 264	0,892 886	0,894 042	0,894 331	0,894 403	0,894 421	0,894 426	0,894 427

Необходимое число итераций 10.

4. Проверка результата обучения.

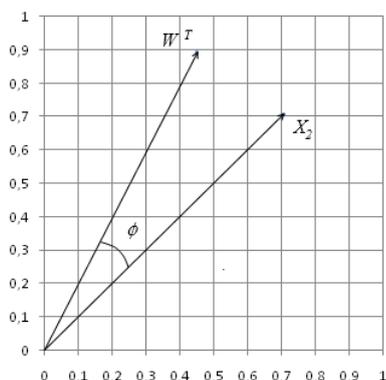
$$y = \|W\| \cdot \|X_2\| \cdot \cos \varphi.$$

где  $W^T$  – транспонированный вектор скорректированных весов,  $\varphi$  - угол между векторами  $W^T$  и  $X_2$ . Для нормализованных векторов  $y = \cos \varphi$ .

$$X'_2 = \begin{pmatrix} 0,707107 \\ 0,707107 \end{pmatrix}$$

$$y = 0,447214 \cdot 0,707107 + 0,894427 \cdot 0,707107 = 0,948683,$$

$$\varphi = 18,43499^\circ.$$



### Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется, если нормализация входных векторов выполнена, вычисления весов велись с точностью не менее четвертого знака после запятой, коррекция значений весов выполнена верно, проверка сопровождается графической иллюстрацией (до 100 баллов).

- оценка «не зачтено» выставляется, если обучающийся не справился с заданием (до 60 баллов).

Типовое задание 4

Раздел (тема) дисциплины: **Сети с обратными связями.**

Сеть Хопфилда обучена по образам представленным тремя четырехэлементными векторами  $X^1$ ,  $X^2$ ,  $X^3$ . Определить за сколько циклов будет распознан с ее помощью четырехэлементный вектор  $y$ , указать номер соответствующего образа.

Пример выполнения задания.

Пусть  $X^1=(-1; 1;-1; 1)$ ,  $X^2=(1;-1; 1; 1)$ ,  $X^3=(-1; 1;-1;-1)$ , а  $y=(1;-1; 1;-1)$ . Установим весовые

коэффициенты в виде  $w_{ij} = \sum_{k=1}^K x_i^k x_j^k$ .

$$\begin{aligned}
 w_{11} &= x_1^1 x_1^1 + x_1^2 x_1^2 + x_1^3 x_1^3; & w_{13} &= x_1^1 x_3^1 + x_1^2 x_3^2 + x_1^3 x_3^3; \\
 w_{21} &= x_2^1 x_1^1 + x_2^2 x_1^2 + x_2^3 x_1^3; & w_{23} &= x_2^1 x_3^1 + x_2^2 x_3^2 + x_2^3 x_3^3; \\
 w_{31} &= x_3^1 x_1^1 + x_3^2 x_1^2 + x_3^3 x_1^3; & w_{33} &= x_3^1 x_3^1 + x_3^2 x_3^2 + x_3^3 x_3^3; \\
 w_{41} &= x_4^1 x_1^1 + x_4^2 x_1^2 + x_4^3 x_1^3; & w_{43} &= x_4^1 x_3^1 + x_4^2 x_3^2 + x_4^3 x_3^3; \\
 w_{12} &= x_1^1 x_2^1 + x_1^2 x_2^2 + x_1^3 x_2^3; & w_{14} &= x_1^1 x_4^1 + x_1^2 x_4^2 + x_1^3 x_4^3; \\
 w_{22} &= x_2^1 x_2^1 + x_2^2 x_2^2 + x_2^3 x_2^3; & w_{24} &= x_2^1 x_4^1 + x_2^2 x_4^2 + x_2^3 x_4^3; \\
 w_{32} &= x_3^1 x_2^1 + x_3^2 x_2^2 + x_3^3 x_2^3; & w_{34} &= x_3^1 x_4^1 + x_3^2 x_4^2 + x_3^3 x_4^3; \\
 w_{42} &= x_4^1 x_2^1 + x_4^2 x_2^2 + x_4^3 x_2^3; & w_{44} &= x_4^1 x_4^1 + x_4^2 x_4^2 + x_4^3 x_4^3.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_{11} &= (-1)(-1) + 1 \cdot 1 + (-1)(-1) = 3; & w_{13} &= (-1)(-1) + 1 \cdot 1 + (-1)(-1) = 3; \\
 w_{21} &= 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot 1 + 1 \cdot (-1) = -3; & w_{23} &= 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot 1 + 1 \cdot (-1) = -3; \\
 w_{31} &= (-1)(-1) + 1 \cdot 1 + (-1)(-1) = 3; & w_{33} &= (-1)(-1) + 1 \cdot 1 + (-1)(-1) = 3; \\
 w_{41} &= 1 \cdot (-1) + 1 \cdot 1 + (-1)(-1) = 1; & w_{43} &= 1 \cdot (-1) + 1 \cdot 1 + (-1)(-1) = 1; \\
 w_{12} &= (-1) \cdot 1 + 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot 1 = -3; & w_{14} &= (-1) \cdot 1 + 1 \cdot 1 + (-1)(-1) = 1; \\
 w_{22} &= 1 \cdot 1 + (-1)(-1) + 1 \cdot 1 = 3; & w_{24} &= 1 \cdot 1 + (-1) \cdot 1 + 1 \cdot (-1) = -1; \\
 w_{32} &= (-1) \cdot 1 + 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot 1 = -3; & w_{34} &= (-1) \cdot 1 + 1 \cdot 1 + (-1)(-1) = 1; \\
 w_{42} &= 1 \cdot 1 + 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot 1 = -1; & w_{44} &= 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + (-1)(-1) = 3.
 \end{aligned}$$

Получаем матрицу весовых коэффициентов

$$W = \begin{pmatrix} 3 & -3 & 3 & 1 \\ -3 & 3 & -3 & -1 \\ 3 & -3 & 3 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 3 \end{pmatrix}.$$

Для сети должно выполняться условие  $w_{ii}=0$ , поэтому обнуляем главную диагональ полученной матрицы весовых коэффициентов

$$W = \begin{pmatrix} 0 & -3 & 3 & 1 \\ -3 & 0 & -3 & -1 \\ 3 & -3 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Распознаваемый вектор  $y$  подают на вход сети, вычисляют комбинированный вход  $s=W \cdot y$ , к которому применяют активационную функцию  $f(s)=\text{sign}(s)$ .

$$s = \begin{pmatrix} 0 & -3 & 3 & 1 \\ -3 & 0 & -3 & -1 \\ 3 & -3 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \cdot 1 + (-3)(-1) + 3 \cdot 1 + 1 \cdot (-1) \\ (-3) \cdot 1 + 0 \cdot (-1) + (-3) \cdot 1 + (-1)(-1) \\ 3 \cdot 1 + (-3)(-1) + 0 \cdot 1 + 1 \cdot (-1) \\ 1 \cdot 1 + (-1)(-1) + 1 \cdot 1 + 0 \cdot (-1) \end{pmatrix}.$$

$$s = \begin{pmatrix} 5 \\ -5 \\ 5 \\ 3 \end{pmatrix}, \quad f(s) = \text{sign}(s) = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Результат соответствует образу X2 из обучающей выборки. Сеть выполнила распознавание за один цикл.

#### Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется, если вычисления значений весов синаптических связей нейронов выполнена верно, подтверждение распознавания представлено, все вычисления приведены (до 100 баллов).
- оценка «не зачтено» выставляется, если обучающийся не справился с заданием ( до 60 баллов).

### Примеры типовых вопросов для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Теоретические вопросы для контроля

1. Биологический нейрон и его математическая модель.
2. Общий вид искусственного нейрона.
3. Понятия комбинированного входа и активационной функции
4. Пороговая активационная функция
5. Сигмоидальная активационная функция
6. Другие виды активационных функций
7. Архитектура однослойной нейронной сети.
8. Архитектура многослойной нейронной сети.
9. Обучение нейронной сети с учителем.
10. Обучение нейронной сети без учителя.
11. Персептрон: архитектура, обучение.
12. Алгоритм обучения персептрона.
13. Однослойная персептронная сеть.

14. Алгоритм обучения однослойной персептронной сети.
15. Линейная разделимость и персептронная разделяемость.
16. Сеть обратного распространения ошибки (ОРО): архитектура.
17. Обучение сети ОРО.
18. Вывод выражений для определения ошибки обучения.
19. Алгоритм обучения сети ОРО.
20. Пример обучения сети ОРО.
21. Замечания к алгоритму обучения сети ОРО.
22. Паралич сети при обучении сети ОРО.
23. Локальные минимумы (ловушки ) при обучении сети ОРО.
24. Медленная сходимость (размер шага) при обучении сети ОРО.
25. Переобучение (перетренировка) сети ОРО при обучении.
26. Типовая архитектура сети встречного распространения.
27. Задача классификации образов с заранее неизвестным числом классов.
28. Классификация образов с помощью сети Коханенна.
29. Пример изменения двумерных весов карты Коханенна.
30. Алгоритм обучения сети Коханенна.
31. Замечания по использованию алгоритма сети Коханенна.
32. Выбор коэффициента обучения  $\alpha$ .
33. Выбор функции соседства.
34. Рандомизация весов на этапе инициализации сети.
35. Выбор параметра расстояния  $\sigma$  и выбор количества нейронов в слое.
36. Нейроны Гроссберга. Структурная схема инстара.
37. Обучение инстара.
38. Функционирование обученного инстара.
39. Структурная схема оутстара, обучение.
40. Двухслойная сеть встречного распространения.
41. Алгоритм обучение сети встречного распространения.
42. Сети с обратными связями.
43. Сеть Хопфилда: архитектура.
44. Нейродинамика сети Хопфилда.
45. Понятия аттрактора и памяти сети Хопфилда.
46. Проблема устойчивости сети Хопфилда.
47. Функция энергии сети Хопфилда.
48. Обучение сети Хопфилда.
49. Пример использования сети Хопфилда.
50. Генерация ложных образов сетью Хопфилда.
51. Ограниченная емкость памяти сети Хопфилда.
52. Ортогонализация образов при обучении сети Хопфилда.
53. Сеть Хэмминга: архитектура принцип работы сети.
54. Алгоритм функционирования сети Хэмминга.
55. Сеть двунаправленной ассоциативной памяти (ДАП).
56. Функционирование сети ДАП.
57. Особенности сети ДАП.

**Критерии оценки контрольных вопросов:**

- оценка «зачтено» выставляется обучающемуся при полном и правильном ответе на любой вопрос из представленного перечня вопросов по изучаемым темам. При этом архитектуры сетей изображены верно, синаптические связи и нейроны обозначены корректно (до 75 баллов), при необходимости представлен вывод выражений, раскрыты принципы обучения, функционирования, особенности обсуждаемой сети (до 90 баллов); обучающийся готов дать дополнительные ответы на смежные вопросы (до 100 баллов).

- оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся при некорректном, недопустимо кратком – односложном, без обоснования - ответе на вопрос (до 40 баллов), допущении существенных неточностей в формулировании основных понятий, принципов обучения и функционирования обсуждаемой сети (до 60 баллов).

## **8 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **8.1 Основная учебная литература**

1. Ростовцев, В. С. Искусственные нейронные сети : учебник для вузов / В. С. Ростовцев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 216 с. — ISBN 978-5-8114-7462-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/160142> (дата обращения: 26.10.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **8.2 Дополнительная учебная литература**

1. Барский, А. Б. Искусственный интеллект и логические нейронные сети : учебное пособие / А. Б. Барский. — Санкт-Петербург : Интермедия, 2019. — 360 с. — ISBN 978-5-4383-0155-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/161343> (дата обращения: 26.10.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Цуриков, А. Н. Моделирование и обучение искусственных нейронных сетей : учебное пособие / А. Н. Цуриков. — Ростов-на-Дону : РГУПС, 2019. — 112 с. — ISBN 978-5-88814-867-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/140610> (дата обращения: 26.10.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## **9 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

На сайте библиотеки <http://library.ugatu.ac.ru/> в разделе «Читателям», подразделах «Информационные ресурсы», «Базы данных» размещены ссылки на интернет-ресурсы.

### **10 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Основными видами аудиторной работы студента при изучении дисциплины «Организация и планирование производственных процессов» являются лекции и практические занятия. Студент не имеет права пропускать занятия без уважительных причин.

На лекциях излагаются и разъясняются основные понятия темы, связанные с ней теоретические и практические проблемы, даются рекомендации для самостоятельной работы. В ходе лекции студент должен внимательно слушать и конспектировать материал.

Изучение разделов дисциплины завершают практические занятия, которые обеспечивают контроль подготовленности студента; закрепление учебного материала; приобретение опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, в том числе аргументации и защиты выдвигаемых положений и тезисов.

Практическому занятию предшествует самостоятельная работа студента, связанная с освоением материала, полученного на лекциях, и материалов, изложенных в учебниках и учебных пособиях, а также литературе, рекомендованной преподавателем.

Качество учебной работы студентов преподаватель оценивает по результатам тестирования, собеседования, защиты отчетов по практическим занятиям.

Преподаватель уже на первых занятиях объясняет студентам, какие формы обучения следует использовать при самостоятельном изучении дисциплины «Нейронные сети и машинное обучение»: конспектирование учебной литературы и лекции, составление словарей понятий и

терминов и т. п.

В процессе обучения преподаватели используют активные формы работы со студентами: чтение лекций, привлечение студентов к творческому процессу на лекциях, отработку студентами пропущенных лекций, участие в групповых и индивидуальных консультациях (собеседовании). Эти формы способствуют выработке у студентов умения работать с учебником и литературой. Изучение литературы составляет значительную часть самостоятельной работы студента. В самом начале работы над книгой важно определить цель и направление этой работы. Прочитанное следует закрепить в памяти. Одним из приемов закрепления освоенного материала является конспектирование, без которого немислима серьезная работа над литературой. Систематическое конспектирование помогает научиться правильно, кратко и четко излагать своими словами прочитанный материал.

Самостоятельную работу следует начинать с первых занятий. От занятия к занятию нужно регулярно прочитывать конспект лекций, знакомиться с соответствующими разделами учебника, читать и конспектировать литературу по каждой теме дисциплины. Самостоятельная работа дает студентам возможность равномерно распределить нагрузку, способствует более глубокому и качественному освоению учебного материала. В случае необходимости студенты обращаются за консультацией к преподавателю по вопросам дисциплины «Нейронные сети и машинное обучение» с целью освоения и закрепления компетенций.

Основная цель самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Нейронные сети и машинное обучение» - закрепить теоретические знания, полученные в процессе лекционных занятий, а также сформировать практические навыки самостоятельного анализа особенностей дисциплины.

### **Раздел 1 Принципы организации, обучения и функционирования ИНС.**

На лекционных занятиях необходимо рассмотреть основные принципы организации нейронных сетей. Обучающийся должен знать аналогии искусственного нейрона и его биологического аналога, иметь представление о строении искусственного нейрона, синаптических весах, комбинированном входе, активационной функции, видах наиболее часто используемых активационных функций. Уметь определять нейрон, однослойные и многослойные сети (веса, количество нейронов, параметры активационных функций). Обучающийся должен иметь представление о двух режимах работы ИНС: обучении и нормальном функционировании. Также обучающийся должен знать основные принципы обучения ИНС, представлять особенности обучения с учителем и без учителя. Особенности обучения с учителем рассматривается на примере персептрона и однослойной персептронной сети. В ходе лекционных занятий и выполнения практического занятия выявляются ограничения однослойных сетей, способных выполнять аппроксимацию только линейных функций. Знаниевый и умениевый результаты обучения по данному разделу проверяются при выполнении задания ПЗ1.

### **Раздел 2. Сеть обратного распространения:**

В разделе изучается простая двухслойная сеть с обратным распространением ошибки. Такая архитектура ИНС является наиболее распространенной на практике при решении задач аппроксимации, прогнозирования, часто применяется для решения задач классификации, распознавания образов. Обучение сети выполняется с учителем. Наиболее ответственным элементом в изучении данного раздела является вывод функции ошибки для корректировки синаптических весов. Понимание этапов итерационного вычисления ошибки позволяет формировать представление об алгоритме обучения сети. Поэтому важно на примере хотя бы одной итерации подробно рассмотреть вычисления выходных сигналов скрытого слоя и выходных сигналов сети, текущего значения ошибки обучения при прямом проходе; вычисления  $\delta$  для корректировки синаптических весов выходного и скрытого слоев, скорректированные веса для слоев при обратном проходе. На выявление знаний алгоритма обучения сети с обратным распространением ошибки и подтверждение умений осуществлять соответствующие вычисления направлена ПЗ2.

### **Раздел 3. Сеть встречного распространения.**

Сеть встречного распространения объединяет в себе два слоя специфических нейронов: нейронов Коханенне и нейронов Гроссберга. Поэтому в начале данного раздела предполагается изучение сети Коханенна, которая обычно применяется для решения задач классификации и кластеризации, когда число классов может быть заранее неизвестно. Обучающийся должен иметь представление о специфическом алгоритме обучения сети Коханенна, являющемся алгоритмом без учителя, о недостатках алгоритма и проблемах обучения, уметь выполнять корректировку весов нейронов Коханенна. Нейроны Гроссберга бывают двух типов: инстары и оутстары, обучающийся должен знать особенности их структуры и назначения, алгоритм обучения нейронов Гроссберга, обучаемых как с учителем, так и без него. Кроме того обучающийся должен приобрести умение выполнять нормализацию векторов входных образов и выполнять обучение на нормализованных векторах. Раздел завершается обсуждением архитектуры двухслойной сети встречного распространения, ее назначения для прогнозирования значений труднообратимых функций и алгоритма ее обучения. На выявление знаний и подтверждение указанных умений направлено выполнение задания ПЗ3.

#### **Раздел 4. Сети с обратными связями..**

Сети с обратными связями имеют особую архитектуру и являются нелинейными динамическими системами. Поэтому для них остро встает проблема устойчивости и анализа нейродинамики. Типичным примером устойчивой нейросети с обратными связями является сеть Хопфилда. Поэтому анализ нейродинамики, понятия пространства состояний сети, аттрактора, ассоциативной памяти вводятся на ее примере. Обучающийся должен иметь представление о функции энергии сети, о ее значении при анализе устойчивости, уметь показать сходимость сети Хопфилда к устойчивым состояниям – аттракторам. Обучающийся должен иметь представление об обучении сети должен иметь представление и уметь выполнять процедуру ортогонализации образов, предназначенную для увеличения емкости ассоциативной памяти сети. Для подтверждения приобретения обучающимся указанных результатов обучения направлено выполнение ПЗ4. Другой известной архитектурой сетей с обратными связями является сеть Хэмминга. Обучающийся должен знать особенности структуры сети, алгоритм ее функционирования, преимущества использования по сравнению с сетью Хопфилда, а также ограничения ее применения. Кроме названных архитектур, рассматривается сеть двунаправленной ассоциативной памяти (ДАП). Обучающийся должен знать особенности архитектуры сети ДАП,, алгоритм ее функционирования. Уметь проводить сравнительный анализ возможностей сетей Хопфилда, Хэмминга и ДАП.

#### **11 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Используется лицензионное программное обеспечение.

1. Cisco Webex договор № 62/0505-21 от 01.03.2021
2. Лицензии на право использования 1С:Предприятие 8, договор № 99/0505-21 от 24.03.2021
3. Программа «Антиплагиат», Лицензионный договор ЭА-266/0702-21 от 20.09.2021
4. KasperskyAnti-Virus, договор ЭА-235/0702-21 от 23.08.2021
5. Семейство продуктов компании Microsoft, договор № ЕД-495/0505-20

#### **12 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

При изучении дисциплины используются специальные помещения представляющие собой учебные аудитории университета для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Для проведения занятий лекционного типа используются наборы стационарного и/или переносного демонстрационного

оборудования.

Распределение аудиторного фонда соответствует утверждённому расписанию занятий. Для проведения лабораторного практикума, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля предназначены учебные лаборатории кафедры с наличием вычислительного и телекоммуникационного оборудования и программных средств, необходимых для реализации ОПОП ВО и обеспечения физического доступа к информационным сетям, используемым в учебном процессе (

Для самостоятельной работы обучающихся предназначена аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования предназначена специальная аудитория.

### **13 Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья учитываются их индивидуальные психофизические особенности. Обучение инвалидов осуществляется также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).

Для лиц с нарушением слуха возможно предоставление учебной информации в визуальной форме (краткий конспект лекций; тексты заданий, напечатанные увеличенным шрифтом), на аудиторных занятиях допускается присутствие ассистента, а также сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков. Текущий контроль успеваемости осуществляется в письменной форме: обучающийся письменно отвечает на вопросы, письменно выполняет практические задания. Доклад (реферат) также может быть представлен в письменной форме, при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.). Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости время подготовки к ответу может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации, а также использование на аудиторных занятиях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь. Текущий контроль успеваемости осуществляется в устной форме. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, на аудиторных занятиях, а также при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации могут быть предоставлены необходимые технические средства (персональный компьютер, ноутбук или другой гаджет); допускается присутствие ассистента (ассистентов), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь (занять рабочее место, передвигаться по аудитории, прочитать задание, оформить ответ, общаться с преподавателем).