

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Кафедра «Инфокогнитивные технологии»

**Практические и лабораторные занятия по дисциплине
«Проектирование интеллектуальных систем»**

**Лабораторная работа № 3
«Распознавание изображений на базе НС обратного
распространения»**

Группа	224-322
Студент	Леонов Владислав Денисович
Преподаватель	Кружалов Алексей Сергеевич

Москва 2023

Цель

Изучить принципы работы и алгоритм обучения многослойных нейронных сетей (НС) на примере сетей обратного распространения.

Краткое описание

Распознавание серии изображений с помощью многослойной нейронной сети (сети обратного распространения).

Требования к функциональности компьютерной программы

- В программе должна быть реализована возможность задания обучающей выборки из внешних файлов изображений.
- Программа должна иметь два режима работы: обучения и распознавания.
 - Обучение должно производиться по стандартному алгоритму обучения обучения сети обратного распространения.
 - Количество слоев в НС должно быть не менее двух (2+).
 - В программе должны задаваться следующие настройки:
 - правильные варианты элементов обучающей выборки,
 - размер ошибки, при котором обучение НС завершается (опционально),
 - коэффициент скорости обучения (опционально)
 - На экранной форме режима обучения должны отображаться:
 - элементы обучающей выборки (изображения),
 - настройки алгоритма обучения,
 - текущие (итоговые) веса нейронов для всех слоев,
 - протоколы результатов обучения (значения весов для каждой итерации).
 - На экранной форме режима распознавания должны отображаться:
 - распознаваемое изображение (должно выбираться из всего множества),
 - результат распознавания,

- веса выходных (опционально - промежуточных) нейронов,
- значения выходов всех (3+) нейронов последнего слоя.

Содержание отчета

- Название и цель работы.
- Задание, краткое описание предметной области и выбранной задачи.
- Описание обучающей выборки
- Блок-схема алгоритмов обучения и распознавания.
- Протоколы проведенных экспериментов (10+), представленные в графиков (допускаются скриншоты в случае программной реализации функциональности).
- Выводы и рекомендации по использованию НС для решения задач распознавания.

Выполнение работы

1. В программе должна быть реализована возможность задания обучающей выборки из внешних файлов изображений. Выполнение данного пункта показано на рисунке 1.

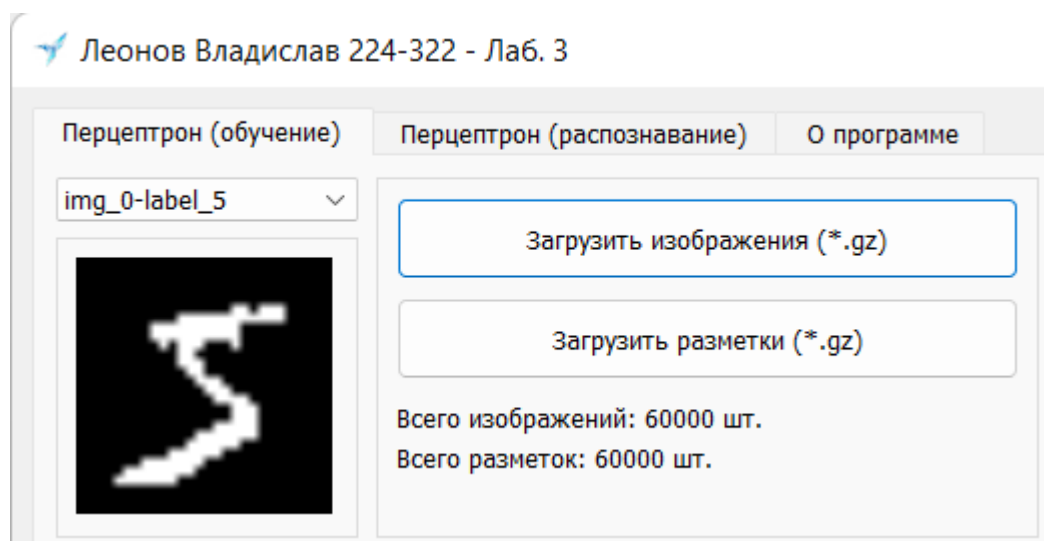


Рисунок 1 – Возможность задания обучающей выборки из внешних файлов

2. Изображения должны быть черно-белыми (bitmap) и размером не менее 9 (3x3) пикселей. Исходные изображения хранятся в архиве формата *.gz в формате изображений 28x28 пикселей. Выполнение данного пункта показано на рисунке 2.

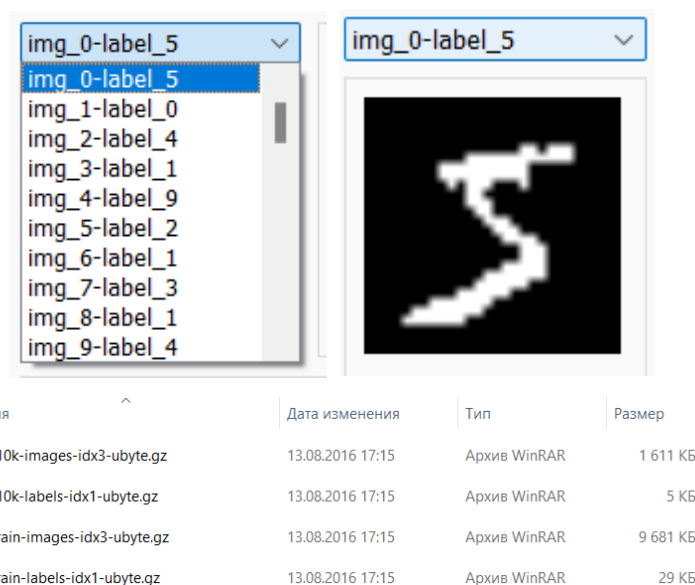


Рисунок 2 – Загруженные изображения в программу

3. Программа должна иметь два режима работы: обучения и распознавания. Режим распознавания будет работать после обучений перцептрона. Выполнение данного пункта показано на рисунке 3.

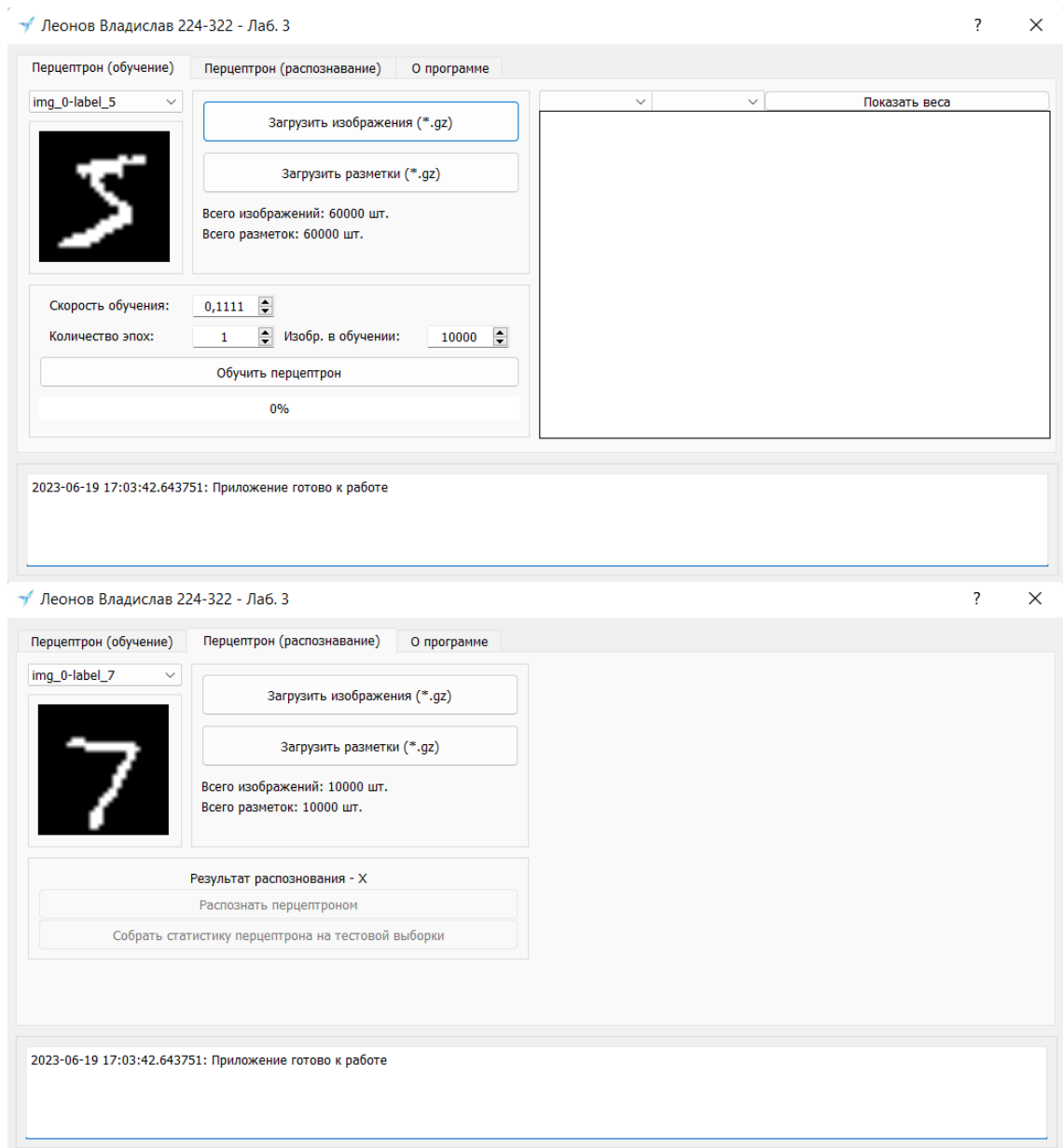


Рисунок 3 – Окна обучения и распознавания

4. Обучение должно производиться по стандартному алгоритму обучения перцептрона с использованием дельта-правила. Выполнение данного пункта показано на рисунке 4.

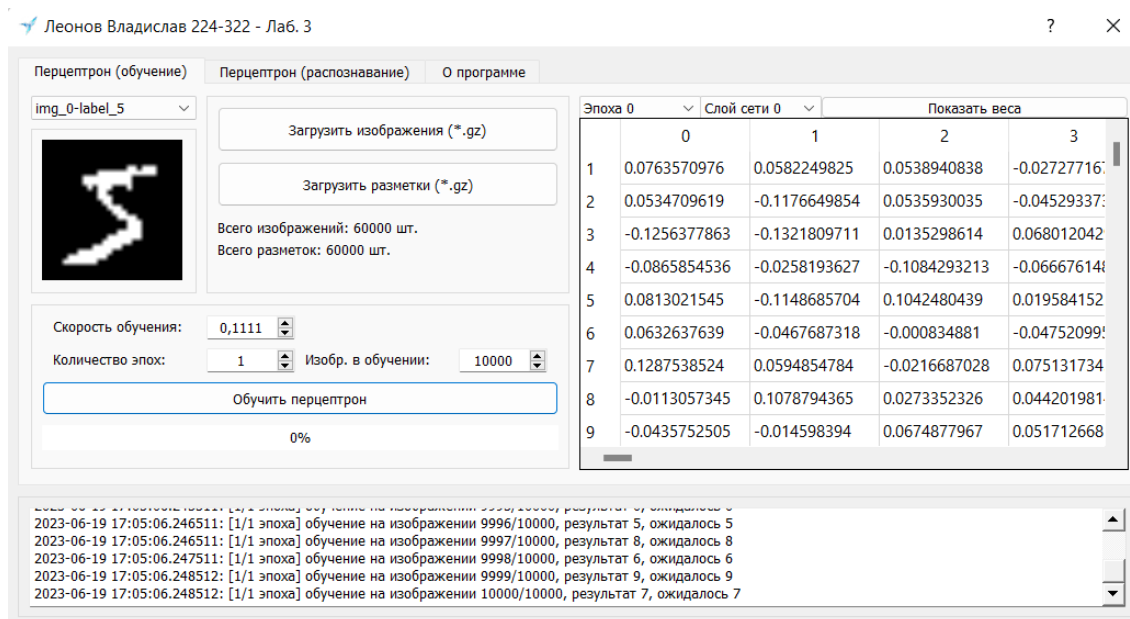


Рисунок 4 – Приложение после обучения перцептрона

- После обучения в приложении разблокируется возможность распознать изображение в вкладке «Перцептрон (распознавание)». Распознавание изображения показано на рисунке 5.

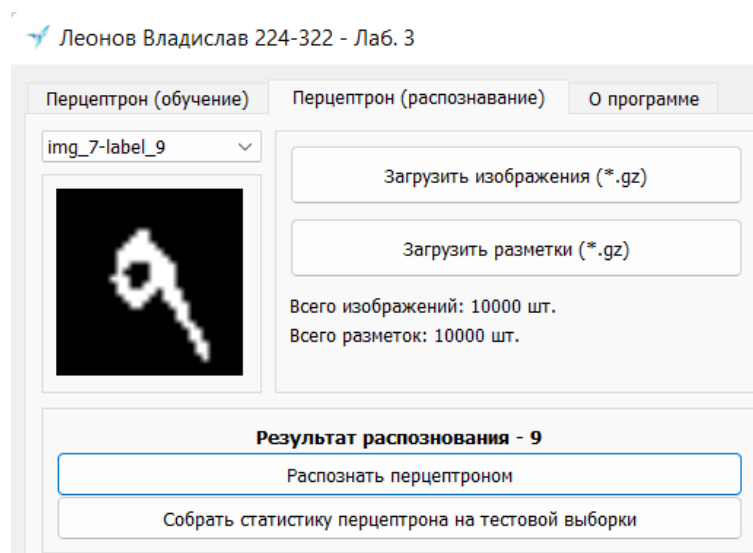
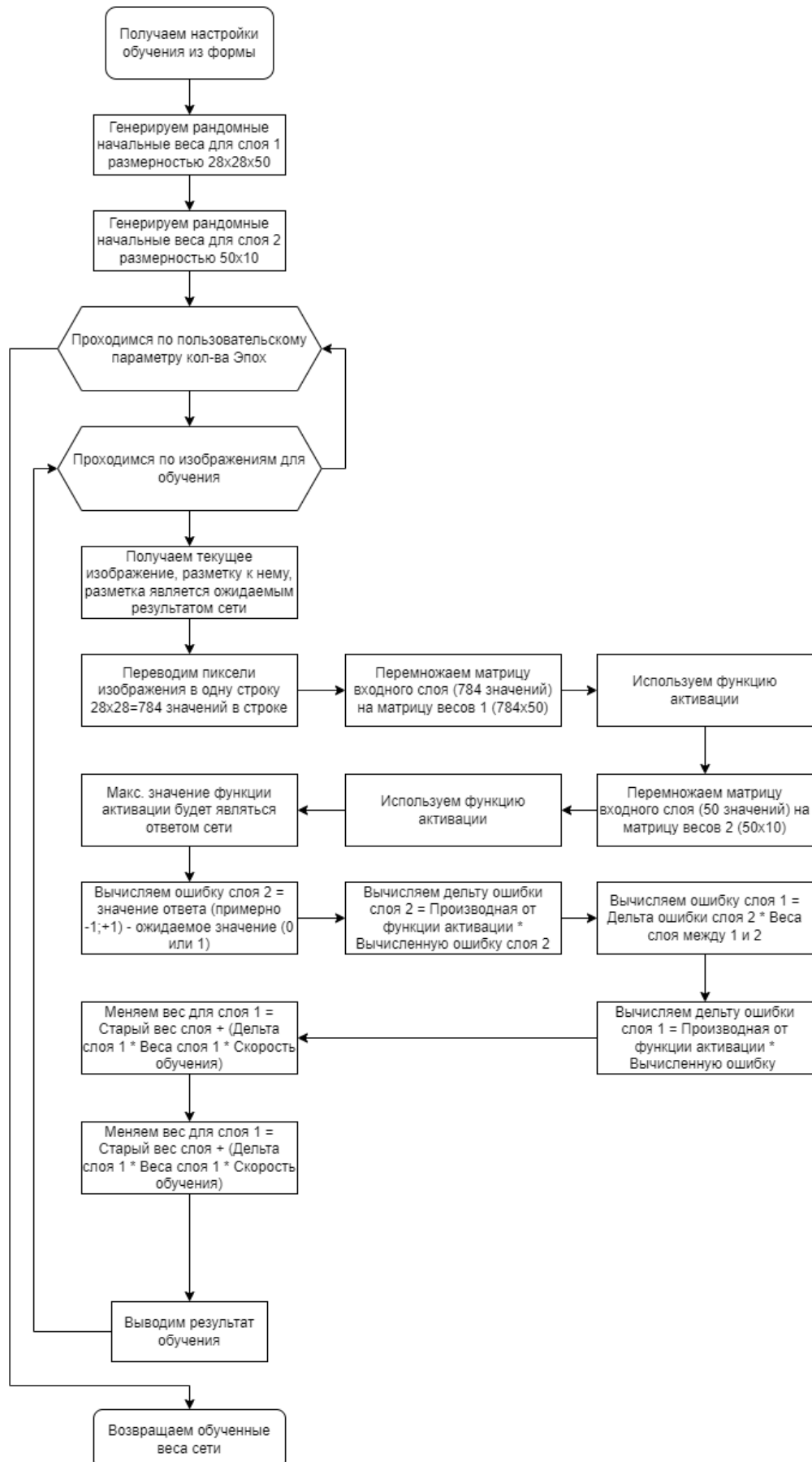
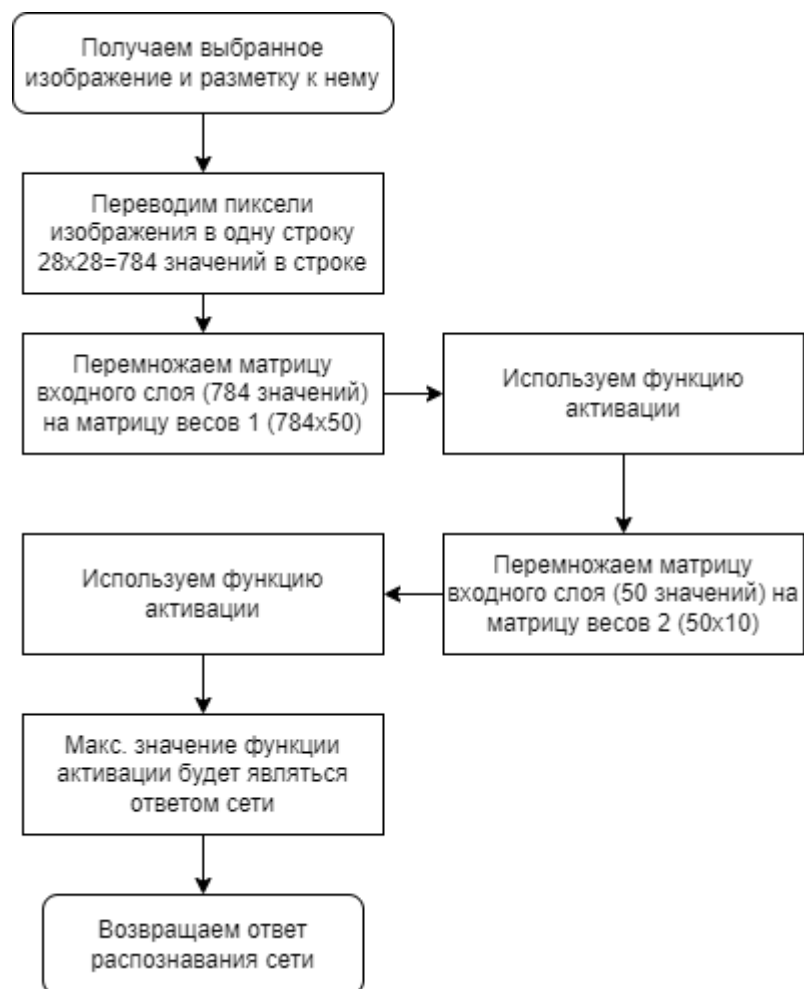


Рисунок 5 – Распознавание и ответ сети

Блок-схема алгоритма обучения



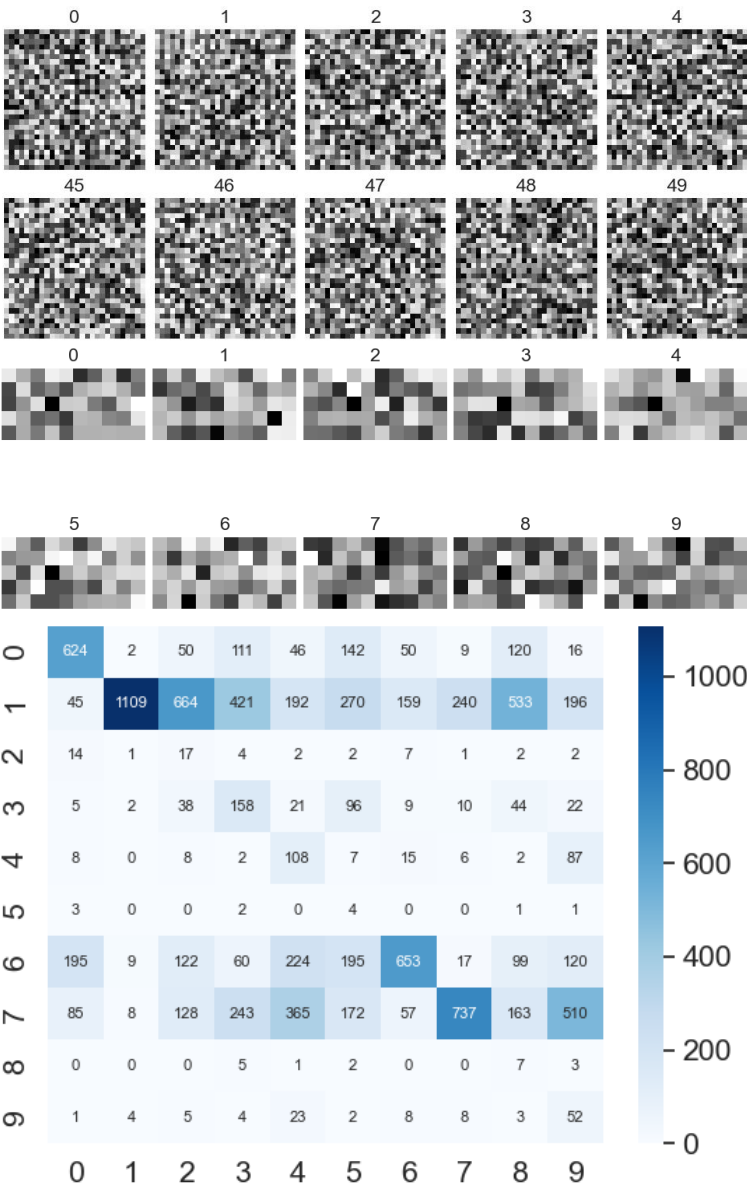
Блок-схема алгоритма распознавания

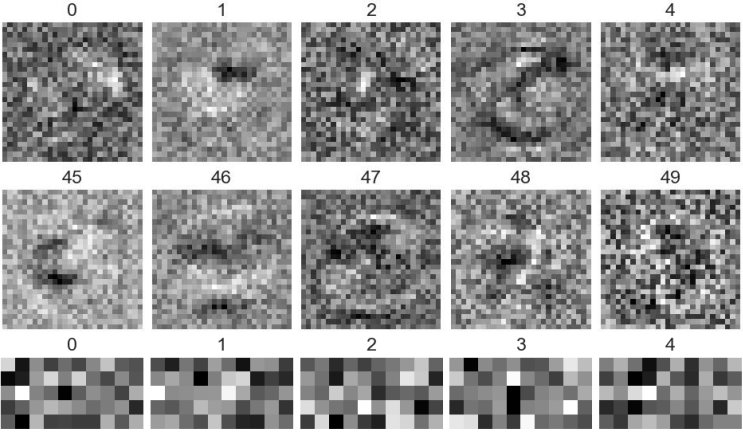
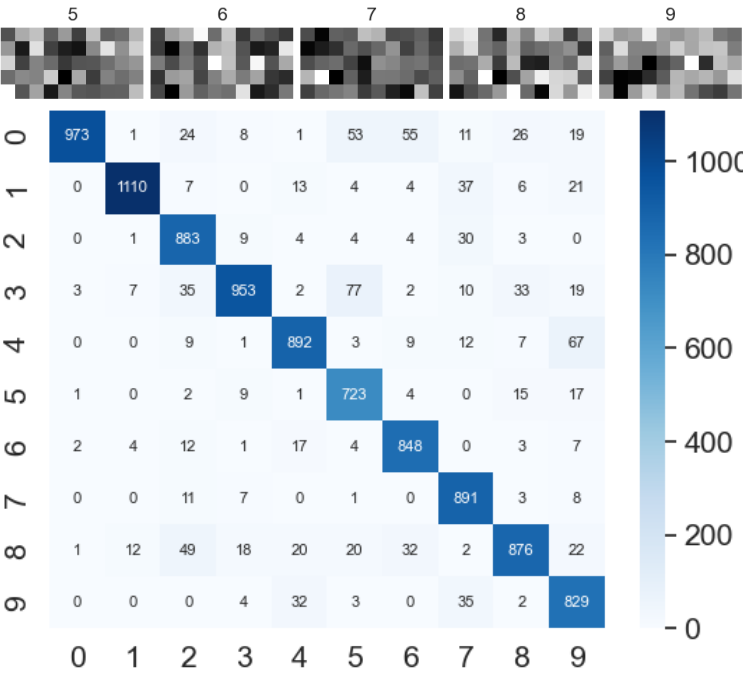



Эксперименты и их результаты

Результаты экспериментов приведены в таблице 1. Подчёркнутые значения являются измененными в таблице, чтобы легче было найти изменяющиеся данные.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

№	Скорость обучения	Кол-во эпох	Кол-во изображений в обучении/функция активации	Результат
1	0,0011	1	10000 Sigmoid	<p>Точность: 34.69%</p>  <p>0 1 2 3 4</p> <p>45 46 47 48 49</p> <p>0 1 2 3 4</p> <p>5 6 7 8 9</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> <p>1000 800 600 400 200 0</p>
2	<u>0,1111</u>	1	10000 Sigmoid	<p>Точность: 89.78%</p>

				 
3	<u>0.5</u>	1	10000 Sigmoid	<p>Точность: 73.74%</p> 
3	<u>0.1111</u>	<u>5</u>	10000	<p>Точность: 92.33%</p>

			Sigmoid	<table><tr><td>0</td><td>969</td><td>0</td><td>10</td><td>4</td><td>1</td><td>12</td><td>7</td><td>3</td><td>9</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1096</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>13</td><td>2</td><td>8</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>4</td><td>953</td><td>22</td><td>8</td><td>2</td><td>9</td><td>29</td><td>3</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>904</td><td>0</td><td>20</td><td>0</td><td>6</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>4</td><td>2</td><td>0</td><td>8</td><td>1</td><td>916</td><td>2</td><td>33</td><td>8</td><td>6</td><td>29</td></tr><tr><td>5</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>22</td><td>1</td><td>788</td><td>9</td><td>4</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td>6</td><td>2</td><td>3</td><td>5</td><td>0</td><td>6</td><td>5</td><td>859</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>7</td><td>2</td><td>0</td><td>6</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td><td>909</td><td>4</td><td>6</td></tr><tr><td>8</td><td>8</td><td>30</td><td>44</td><td>45</td><td>17</td><td>50</td><td>38</td><td>26</td><td>937</td><td>37</td></tr><tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>8</td><td>28</td><td>10</td><td>0</td><td>30</td><td>4</td><td>912</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr></table>	0	969	0	10	4	1	12	7	3	9	5	1	0	1096	2	0	2	1	3	13	2	8	2	4	4	953	22	8	2	9	29	3	0	3	1	0	1	904	0	20	0	6	5	6	4	2	0	8	1	916	2	33	8	6	29	5	2	2	1	22	1	788	9	4	4	5	6	2	3	5	0	6	5	859	0	0	1	7	2	0	6	4	3	2	0	909	4	6	8	8	30	44	45	17	50	38	26	937	37	9	0	0	2	8	28	10	0	30	4	912		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	969	0	10	4	1	12	7	3	9	5																																																																																																																			
1	0	1096	2	0	2	1	3	13	2	8																																																																																																																			
2	4	4	953	22	8	2	9	29	3	0																																																																																																																			
3	1	0	1	904	0	20	0	6	5	6																																																																																																																			
4	2	0	8	1	916	2	33	8	6	29																																																																																																																			
5	2	2	1	22	1	788	9	4	4	5																																																																																																																			
6	2	3	5	0	6	5	859	0	0	1																																																																																																																			
7	2	0	6	4	3	2	0	909	4	6																																																																																																																			
8	8	30	44	45	17	50	38	26	937	37																																																																																																																			
9	0	0	2	8	28	10	0	30	4	912																																																																																																																			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																			
4	0,1111	5	<u>60000</u> Sigmoid	<table><tr><td>0</td><td>963</td><td>0</td><td>9</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>9</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1118</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>6</td><td>4</td><td>4</td></tr><tr><td>2</td><td>0</td><td>5</td><td>969</td><td>6</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>12</td><td>3</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>8</td><td>958</td><td>0</td><td>11</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>5</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td><td>0</td><td>10</td><td>1</td><td>955</td><td>2</td><td>5</td><td>2</td><td>10</td><td>22</td></tr><tr><td>5</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>18</td><td>0</td><td>857</td><td>9</td><td>0</td><td>7</td><td>6</td></tr><tr><td>6</td><td>2</td><td>4</td><td>5</td><td>0</td><td>4</td><td>6</td><td>925</td><td>0</td><td>6</td><td>3</td></tr><tr><td>7</td><td>4</td><td>1</td><td>12</td><td>11</td><td>1</td><td>5</td><td>1</td><td>995</td><td>8</td><td>13</td></tr><tr><td>8</td><td>2</td><td>5</td><td>14</td><td>5</td><td>2</td><td>5</td><td>6</td><td>4</td><td>923</td><td>4</td></tr><tr><td>9</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>10</td><td>16</td><td>2</td><td>0</td><td>7</td><td>5</td><td>948</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr></table>	0	963	0	9	1	1	3	9	2	3	4	1	1	1118	4	0	0	1	3	6	4	4	2	0	5	969	6	3	0	0	12	3	0	3	1	1	8	958	0	11	0	0	5	5	4	3	0	10	1	955	2	5	2	10	22	5	3	1	1	18	0	857	9	0	7	6	6	2	4	5	0	4	6	925	0	6	3	7	4	1	12	11	1	5	1	995	8	13	8	2	5	14	5	2	5	6	4	923	4	9	1	0	0	10	16	2	0	7	5	948		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	963	0	9	1	1	3	9	2	3	4																																																																																																																			
1	1	1118	4	0	0	1	3	6	4	4																																																																																																																			
2	0	5	969	6	3	0	0	12	3	0																																																																																																																			
3	1	1	8	958	0	11	0	0	5	5																																																																																																																			
4	3	0	10	1	955	2	5	2	10	22																																																																																																																			
5	3	1	1	18	0	857	9	0	7	6																																																																																																																			
6	2	4	5	0	4	6	925	0	6	3																																																																																																																			
7	4	1	12	11	1	5	1	995	8	13																																																																																																																			
8	2	5	14	5	2	5	6	4	923	4																																																																																																																			
9	1	0	0	10	16	2	0	7	5	948																																																																																																																			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																			
5	<u>0,25</u>	<u>10</u>	10000 Sigmoid	<table><tr><td>0</td><td>951</td><td>0</td><td>24</td><td>10</td><td>1</td><td>20</td><td>20</td><td>0</td><td>11</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1113</td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>3</td><td>21</td><td>3</td><td>11</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>906</td><td>24</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>19</td><td>16</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>891</td><td>0</td><td>20</td><td>0</td><td>7</td><td>4</td><td>6</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>2</td><td>16</td><td>5</td><td>937</td><td>12</td><td>18</td><td>13</td><td>12</td><td>35</td></tr><tr><td>5</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>32</td><td>0</td><td>771</td><td>12</td><td>2</td><td>13</td><td>6</td></tr><tr><td>6</td><td>9</td><td>5</td><td>10</td><td>1</td><td>6</td><td>20</td><td>898</td><td>0</td><td>9</td><td>2</td></tr><tr><td>7</td><td>3</td><td>0</td><td>29</td><td>11</td><td>2</td><td>8</td><td>0</td><td>930</td><td>8</td><td>10</td></tr><tr><td>8</td><td>6</td><td>9</td><td>26</td><td>16</td><td>2</td><td>24</td><td>5</td><td>2</td><td>858</td><td>10</td></tr><tr><td>9</td><td>2</td><td>1</td><td>16</td><td>16</td><td>29</td><td>14</td><td>0</td><td>34</td><td>40</td><td>924</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr></table>	0	951	0	24	10	1	20	20	0	11	5	1	0	1113	1	4	3	2	3	21	3	11	2	1	4	906	24	2	1	2	19	16	0	3	0	0	2	891	0	20	0	7	4	6	4	4	2	16	5	937	12	18	13	12	35	5	4	1	2	32	0	771	12	2	13	6	6	9	5	10	1	6	20	898	0	9	2	7	3	0	29	11	2	8	0	930	8	10	8	6	9	26	16	2	24	5	2	858	10	9	2	1	16	16	29	14	0	34	40	924		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	951	0	24	10	1	20	20	0	11	5																																																																																																																			
1	0	1113	1	4	3	2	3	21	3	11																																																																																																																			
2	1	4	906	24	2	1	2	19	16	0																																																																																																																			
3	0	0	2	891	0	20	0	7	4	6																																																																																																																			
4	4	2	16	5	937	12	18	13	12	35																																																																																																																			
5	4	1	2	32	0	771	12	2	13	6																																																																																																																			
6	9	5	10	1	6	20	898	0	9	2																																																																																																																			
7	3	0	29	11	2	8	0	930	8	10																																																																																																																			
8	6	9	26	16	2	24	5	2	858	10																																																																																																																			
9	2	1	16	16	29	14	0	34	40	924																																																																																																																			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																			
6	0,25	10	10000 Softmax																																																																																																																										

7	<u>0,1111</u>	<u>1</u>	10000 Softmax	<p>Точность: 87.09%</p>
8	<u>0,0450</u>	1	10000 Softmax	<p>Точность: 89.85%</p>
9	0,0450	<u>5</u>	<u>60000</u> Softmax	<p>Точность: 96.13%</p>

10	0,0450	10	60000 Softmax	<p>Точность: 96.21%</p>

Вывод:

Многослойный перцептрон с обратным распространением ошибки подходит для задач мультиклассовой классификации, при скорости обучения больше 0,1, количестве эпох 5 и количестве картинок в обучающей выборке 60000 значение точности предсказаний может быть больше 96%. Наименьший результат достигается при оптимальных параметрах для однослойного персептрона, где скорость обучения 0,0011, эпох 1, изображений 10000, результат распознавания на тестовые выборки около 34%. Также при использовании функции Softmax необходимо ставить скорость обучения меньше, чем для функции Sigmoid.

