

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 № 2  
**«Распознавание изображений с помощью персептрона»**

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

**Москва 2023**

## **Цель**

Изучить принципы работы и алгоритм обучения простейших искусственных нейронных сетей (НС).

## **Краткое описание**

Разработка программы, которая обучает искусственную нейронную сеть (персептрон) распознавать два или более черно-белых изображения.

## **Требования к функциональности компьютерной программы**

- В программе должна быть реализована возможность задания обучающей выборки из внешних файлов изображений.
- Изображения должны быть черно-белыми (bitmap) и размером не менее 9 (3x3) пикселей.
- Программа должна иметь два режима работы: обучения и распознавания.
- Обучение должно производиться по стандартному алгоритму обучения персептрона с использованием дельта-правила.
- В программе должны задаваться следующие настройки:
  - количество входов нейрона, которое соответствует общему числу пикселей изображения,
  - коэффициент скорости обучения (если его значение постоянно),
  - правильные варианты элементов обучающей выборки,
  - размер ошибки, при котором обучение персептрона завершается (опционально).

На экранной форме режима обучения должны отображаться:

- элементы обучающей выборки (изображения),
- настройки алгоритма обучения,
- текущие (итоговые) веса нейронов и значение порога активационной функции,

– 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 нейронов и значение порога активационной функции,
- значения выходов всех нейронов до и после применения активационной функции.

### **Содержание отчета**

- Название и цель работы.
- Задание, краткое описание предметной области и выбранной задачи.
- Блок-схема алгоритмов обучения и распознавания.
- Протоколы проведенных экспериментов (5+), 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.

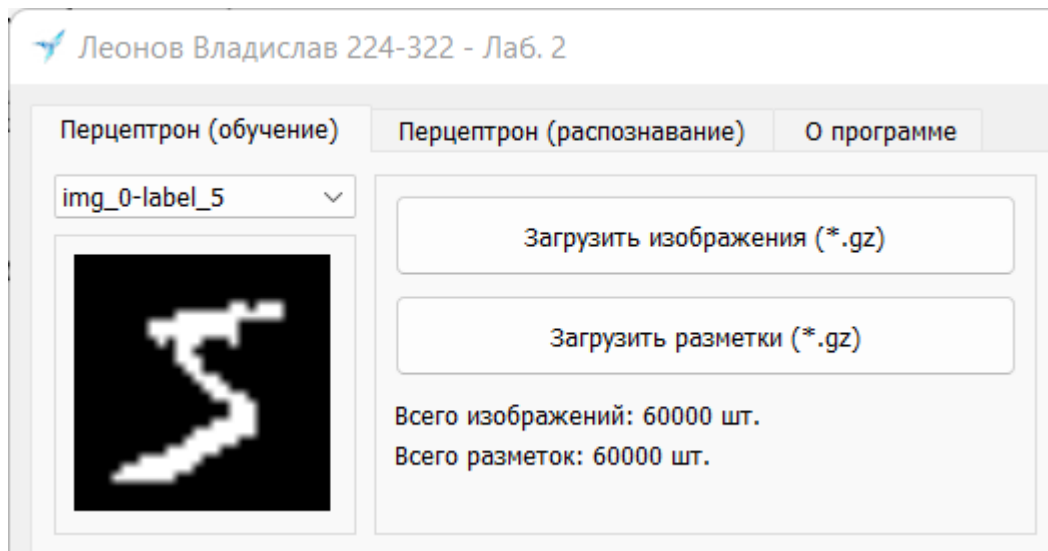


Рисунок 1 – Возможность задания обучающей выборки из внешних файлов

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.

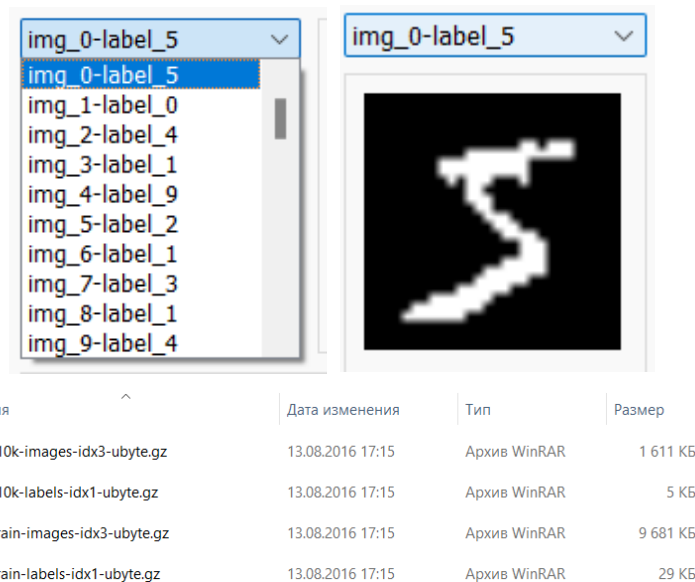


Рисунок 2 – Загруженные изображения в программу

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

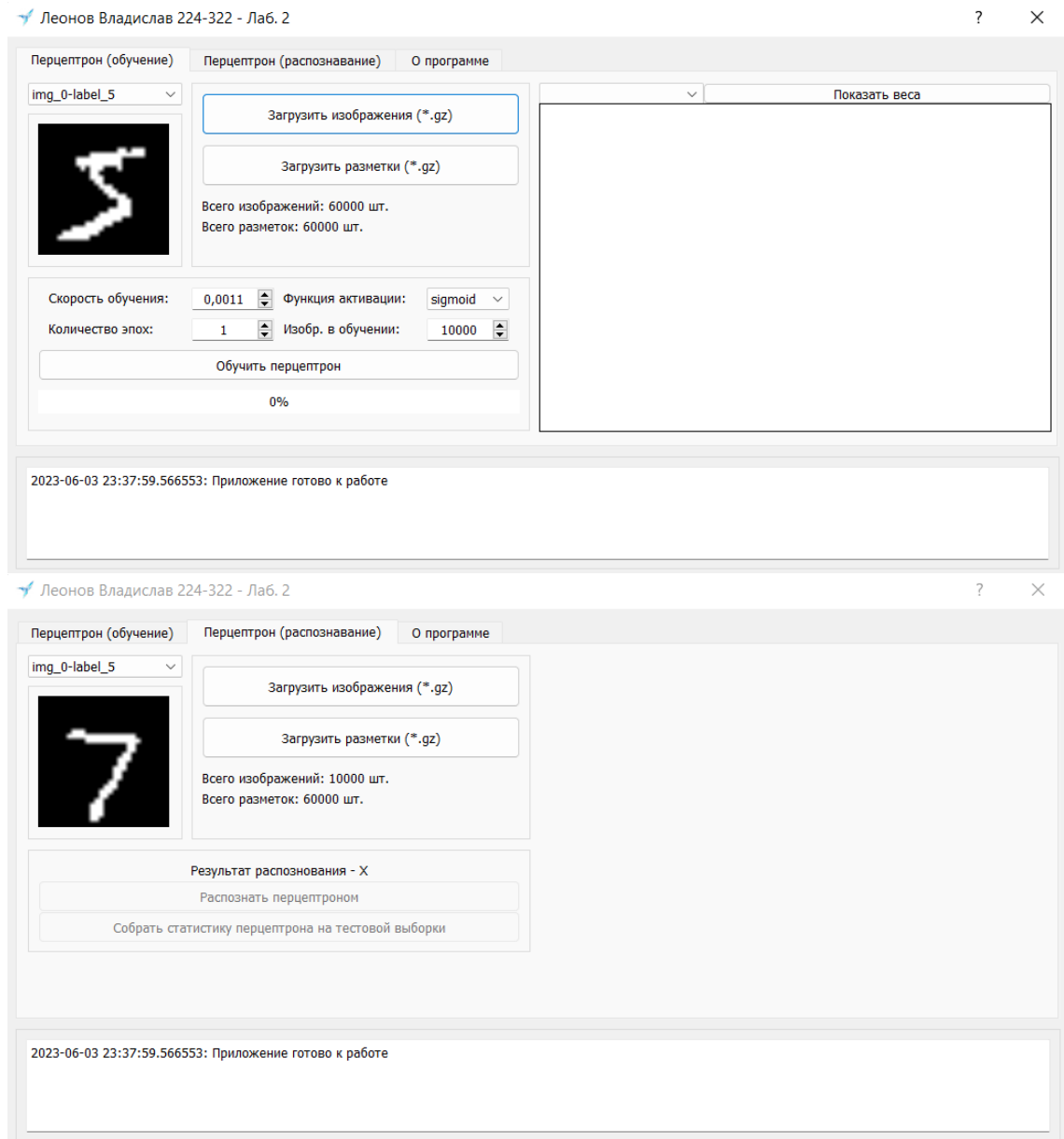


Рисунок 3 – Окна обучения и распознавания

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

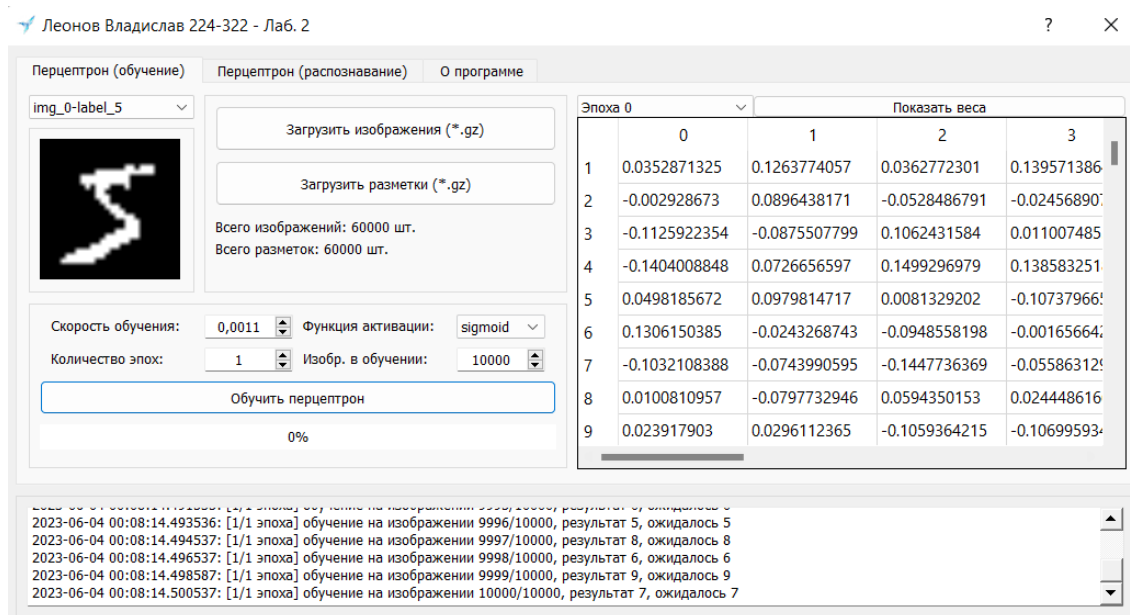


Рисунок 4 – Приложение после обучения перцептрона

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

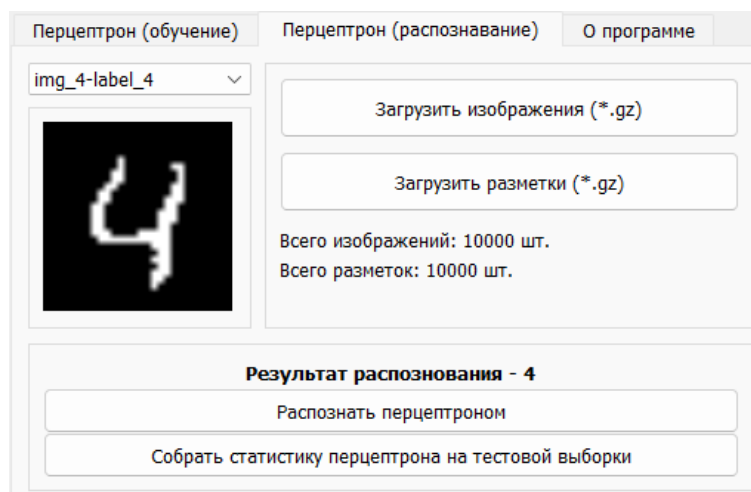
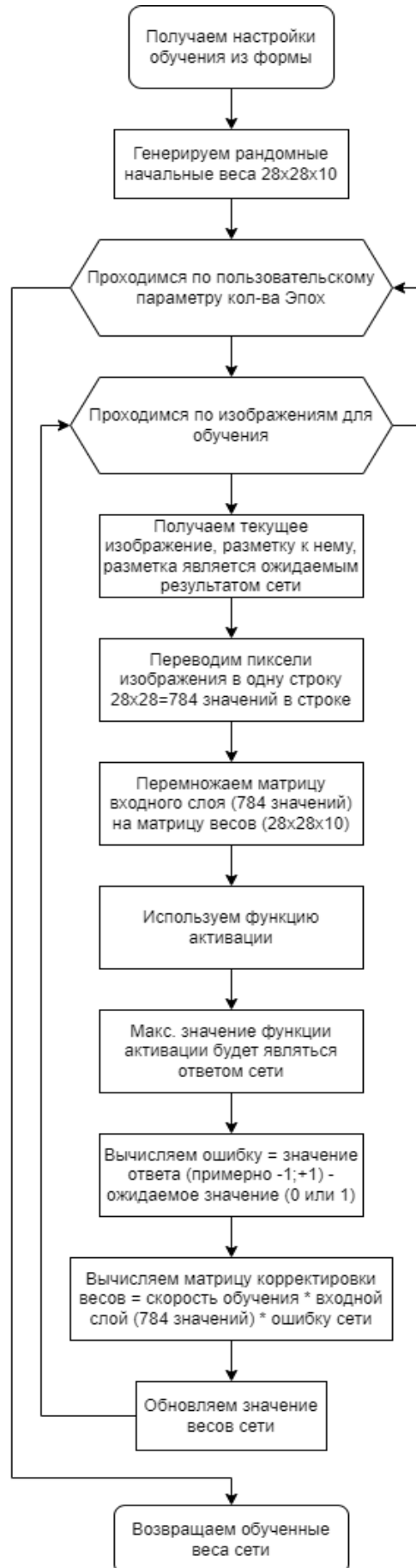


Рисунок 5 – Распознавание и ответ сети

## Блок-схема алгоритма обучения



## Блок-схема алгоритма распознавания

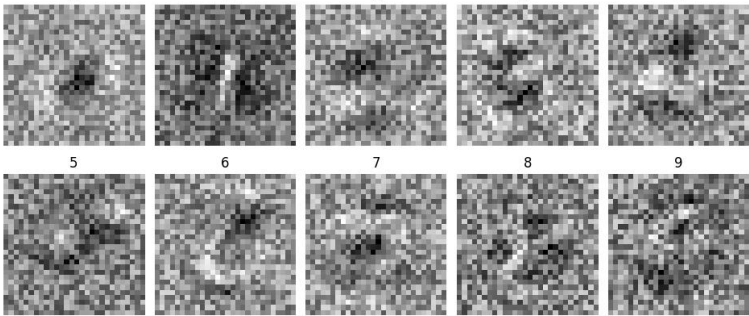
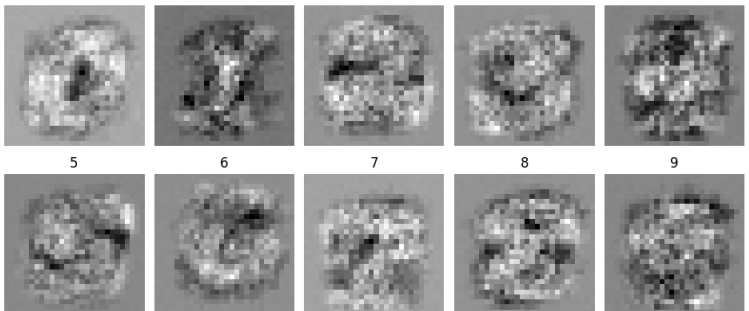




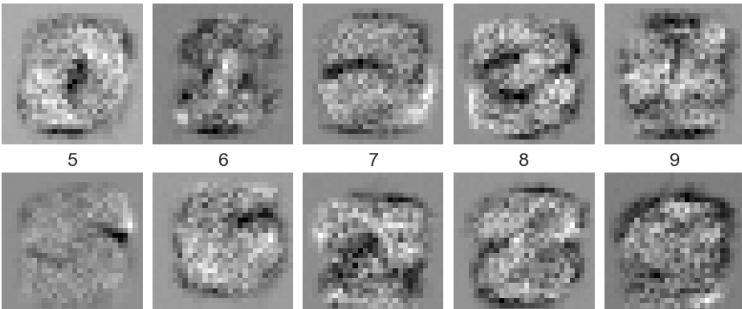
## Эксперименты и их результаты

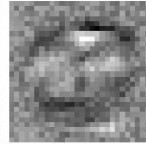
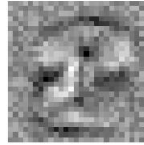
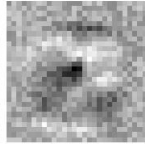
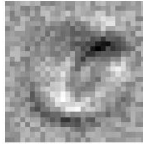
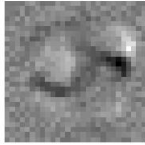
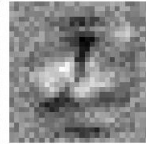
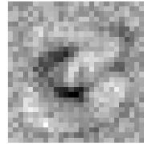
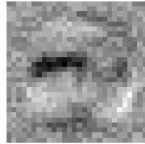
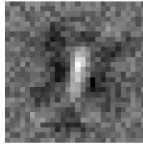
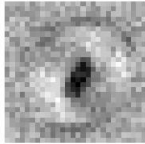
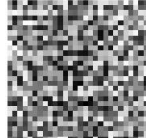
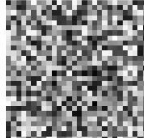
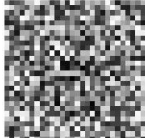
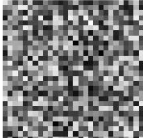
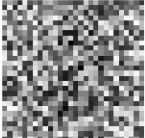

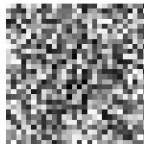
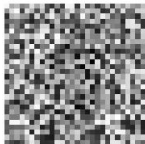
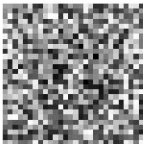
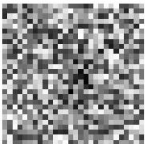
Результаты экспериментов приведены в таблице 1. Подчёркнутые значения являются измененными в таблице, чтобы легче было найти изменяющиеся данные.

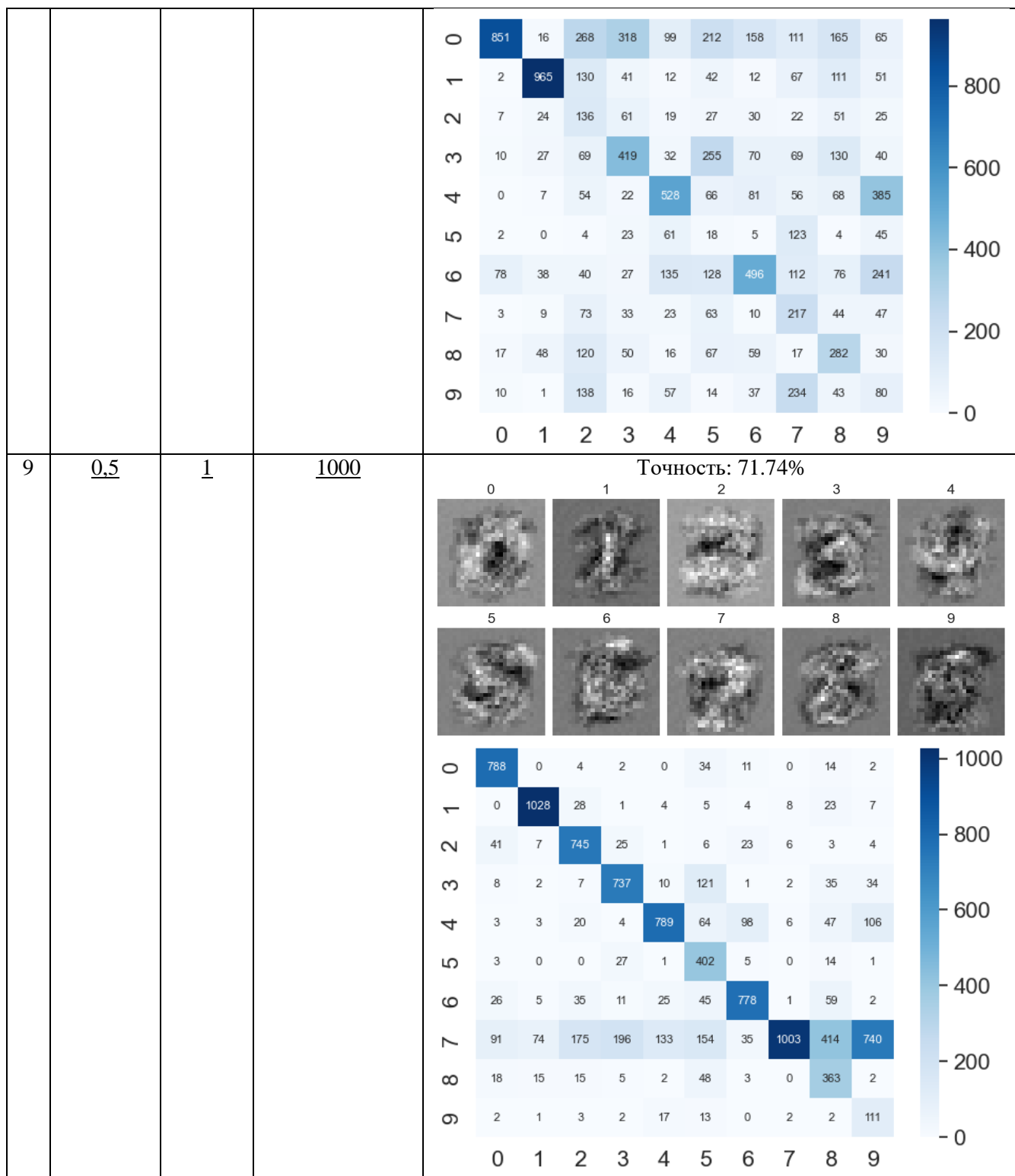
Таблица 1 – Результаты экспериментов

№	Скорость обучения	Кол-во эпох	Кол-во изображений в обучении	Результат																																																																																																																									
1	0,0011	1	10000	<div>Точность: 83.17%</div> <div></div> <div><table><tr><td>0</td><td>941</td><td>0</td><td>21</td><td>12</td><td>4</td><td>51</td><td>30</td><td>4</td><td>11</td><td>16</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1068</td><td>38</td><td>7</td><td>12</td><td>13</td><td>2</td><td>37</td><td>25</td><td>12</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>7</td><td>806</td><td>32</td><td>13</td><td>8</td><td>16</td><td>27</td><td>12</td><td>8</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>7</td><td>34</td><td>868</td><td>3</td><td>131</td><td>0</td><td>3</td><td>50</td><td>17</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>13</td><td>1</td><td>786</td><td>19</td><td>10</td><td>11</td><td>5</td><td>65</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>8</td><td>1</td><td>17</td><td>2</td><td>487</td><td>14</td><td>0</td><td>7</td><td>7</td></tr><tr><td>6</td><td>19</td><td>6</td><td>27</td><td>7</td><td>29</td><td>32</td><td>870</td><td>2</td><td>12</td><td>9</td></tr><tr><td>7</td><td>1</td><td>1</td><td>20</td><td>16</td><td>5</td><td>12</td><td>1</td><td>901</td><td>16</td><td>52</td></tr><tr><td>8</td><td>17</td><td>38</td><td>67</td><td>37</td><td>32</td><td>108</td><td>15</td><td>11</td><td>810</td><td>22</td></tr><tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>13</td><td>96</td><td>31</td><td>0</td><td>32</td><td>26</td><td>801</td></tr><tr><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><td></td></tr></table></div>	0	941	0	21	12	4	51	30	4	11	16	1	0	1068	38	7	12	13	2	37	25	12	2	1	7	806	32	13	8	16	27	12	8	3	1	7	34	868	3	131	0	3	50	17	4	0	0	13	1	786	19	10	11	5	65	5	0	8	1	17	2	487	14	0	7	7	6	19	6	27	7	29	32	870	2	12	9	7	1	1	20	16	5	12	1	901	16	52	8	17	38	67	37	32	108	15	11	810	22	9	0	0	5	13	96	31	0	32	26	801	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	941	0	21	12	4	51	30	4	11	16																																																																																																																			
1	0	1068	38	7	12	13	2	37	25	12																																																																																																																			
2	1	7	806	32	13	8	16	27	12	8																																																																																																																			
3	1	7	34	868	3	131	0	3	50	17																																																																																																																			
4	0	0	13	1	786	19	10	11	5	65																																																																																																																			
5	0	8	1	17	2	487	14	0	7	7																																																																																																																			
6	19	6	27	7	29	32	870	2	12	9																																																																																																																			
7	1	1	20	16	5	12	1	901	16	52																																																																																																																			
8	17	38	67	37	32	108	15	11	810	22																																																																																																																			
9	0	0	5	13	96	31	0	32	26	801																																																																																																																			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																				
2	0,5	1	10000	<div>Точность: 83.92%</div> <div></div>																																																																																																																									

				<table><tr><td>0</td><td>970</td><td>0</td><td>45</td><td>11</td><td>10</td><td>37</td><td>57</td><td>13</td><td>30</td><td>38</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1051</td><td>12</td><td>2</td><td>4</td><td>9</td><td>3</td><td>14</td><td>8</td><td>22</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>5</td><td>821</td><td>33</td><td>13</td><td>7</td><td>9</td><td>32</td><td>16</td><td>2</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>24</td><td>848</td><td>0</td><td>34</td><td>1</td><td>5</td><td>24</td><td>18</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>12</td><td>2</td><td>871</td><td>5</td><td>11</td><td>19</td><td>4</td><td>144</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>77</td><td>21</td><td>702</td><td>30</td><td>10</td><td>51</td><td>75</td></tr><tr><td>6</td><td>4</td><td>4</td><td>9</td><td>3</td><td>9</td><td>5</td><td>804</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>7</td><td>2</td><td>11</td><td>25</td><td>8</td><td>5</td><td>6</td><td>11</td><td>889</td><td>14</td><td>42</td></tr><tr><td>8</td><td>2</td><td>58</td><td>84</td><td>25</td><td>30</td><td>84</td><td>32</td><td>4</td><td>823</td><td>54</td></tr><tr><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>19</td><td>3</td><td>0</td><td>42</td><td>1</td><td>613</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	970	0	45	11	10	37	57	13	30	38	1	0	1051	12	2	4	9	3	14	8	22	2	1	5	821	33	13	7	9	32	16	2	3	1	2	24	848	0	34	1	5	24	18	4	0	0	12	2	871	5	11	19	4	144	5	0	3	0	77	21	702	30	10	51	75	6	4	4	9	3	9	5	804	0	3	1	7	2	11	25	8	5	6	11	889	14	42	8	2	58	84	25	30	84	32	4	823	54	9	0	1	0	1	19	3	0	42	1	613		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	970	0	45	11	10	37	57	13	30	38																																																																																																																			
1	0	1051	12	2	4	9	3	14	8	22																																																																																																																			
2	1	5	821	33	13	7	9	32	16	2																																																																																																																			
3	1	2	24	848	0	34	1	5	24	18																																																																																																																			
4	0	0	12	2	871	5	11	19	4	144																																																																																																																			
5	0	3	0	77	21	702	30	10	51	75																																																																																																																			
6	4	4	9	3	9	5	804	0	3	1																																																																																																																			
7	2	11	25	8	5	6	11	889	14	42																																																																																																																			
8	2	58	84	25	30	84	32	4	823	54																																																																																																																			
9	0	1	0	1	19	3	0	42	1	613																																																																																																																			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																			
3	<u>1</u>	1	10000	<div>Точность: 83.03%</div> <table><tr><td>0</td><td>972</td><td>0</td><td>48</td><td>15</td><td>21</td><td>44</td><td>59</td><td>21</td><td>36</td><td>51</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1033</td><td>7</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>3</td><td>10</td><td>17</td><td>15</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>15</td><td>797</td><td>17</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>23</td><td>15</td><td>1</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>26</td><td>76</td><td>933</td><td>25</td><td>106</td><td>3</td><td>27</td><td>80</td><td>65</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>1</td><td>796</td><td>7</td><td>5</td><td>8</td><td>5</td><td>73</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>6</td><td>5</td><td>22</td><td>31</td><td>688</td><td>17</td><td>5</td><td>69</td><td>78</td></tr><tr><td>6</td><td>4</td><td>6</td><td>18</td><td>2</td><td>32</td><td>12</td><td>849</td><td>1</td><td>9</td><td>3</td></tr><tr><td>7</td><td>1</td><td>3</td><td>20</td><td>5</td><td>7</td><td>4</td><td>8</td><td>886</td><td>12</td><td>40</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td><td>45</td><td>56</td><td>13</td><td>24</td><td>44</td><td>12</td><td>8</td><td>728</td><td>42</td></tr><tr><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>42</td><td>3</td><td>0</td><td>39</td><td>3</td><td>641</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	972	0	48	15	21	44	59	21	36	51	1	0	1033	7	1	3	2	3	10	17	15	2	1	15	797	17	1	2	2	23	15	1	3	1	26	76	933	25	106	3	27	80	65	4	0	0	5	1	796	7	5	8	5	73	5	0	6	5	22	31	688	17	5	69	78	6	4	6	18	2	32	12	849	1	9	3	7	1	3	20	5	7	4	8	886	12	40	8	1	45	56	13	24	44	12	8	728	42	9	0	1	0	1	42	3	0	39	3	641		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	972	0	48	15	21	44	59	21	36	51																																																																																																																			
1	0	1033	7	1	3	2	3	10	17	15																																																																																																																			
2	1	15	797	17	1	2	2	23	15	1																																																																																																																			
3	1	26	76	933	25	106	3	27	80	65																																																																																																																			
4	0	0	5	1	796	7	5	8	5	73																																																																																																																			
5	0	6	5	22	31	688	17	5	69	78																																																																																																																			
6	4	6	18	2	32	12	849	1	9	3																																																																																																																			
7	1	3	20	5	7	4	8	886	12	40																																																																																																																			
8	1	45	56	13	24	44	12	8	728	42																																																																																																																			
9	0	1	0	1	42	3	0	39	3	641																																																																																																																			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																			
4	<u>2</u>	1	10000	<div>Точность: 80.13%</div> <table><tr><td>0</td><td>972</td><td>0</td><td>48</td><td>15</td><td>21</td><td>44</td><td>59</td><td>21</td><td>36</td><td>51</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1033</td><td>7</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>3</td><td>10</td><td>17</td><td>15</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>15</td><td>797</td><td>17</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>23</td><td>15</td><td>1</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>26</td><td>76</td><td>933</td><td>25</td><td>106</td><td>3</td><td>27</td><td>80</td><td>65</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>1</td><td>796</td><td>7</td><td>5</td><td>8</td><td>5</td><td>73</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>6</td><td>5</td><td>22</td><td>31</td><td>688</td><td>17</td><td>5</td><td>69</td><td>78</td></tr><tr><td>6</td><td>4</td><td>6</td><td>18</td><td>2</td><td>32</td><td>12</td><td>849</td><td>1</td><td>9</td><td>3</td></tr><tr><td>7</td><td>1</td><td>3</td><td>20</td><td>5</td><td>7</td><td>4</td><td>8</td><td>886</td><td>12</td><td>40</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td><td>45</td><td>56</td><td>13</td><td>24</td><td>44</td><td>12</td><td>8</td><td>728</td><td>42</td></tr><tr><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>42</td><td>3</td><td>0</td><td>39</td><td>3</td><td>641</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	972	0	48	15	21	44	59	21	36	51	1	0	1033	7	1	3	2	3	10	17	15	2	1	15	797	17	1	2	2	23	15	1	3	1	26	76	933	25	106	3	27	80	65	4	0	0	5	1	796	7	5	8	5	73	5	0	6	5	22	31	688	17	5	69	78	6	4	6	18	2	32	12	849	1	9	3	7	1	3	20	5	7	4	8	886	12	40	8	1	45	56	13	24	44	12	8	728	42	9	0	1	0	1	42	3	0	39	3	641		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	972	0	48	15	21	44	59	21	36	51																																																																																																																			
1	0	1033	7	1	3	2	3	10	17	15																																																																																																																			
2	1	15	797	17	1	2	2	23	15	1																																																																																																																			
3	1	26	76	933	25	106	3	27	80	65																																																																																																																			
4	0	0	5	1	796	7	5	8	5	73																																																																																																																			
5	0	6	5	22	31	688	17	5	69	78																																																																																																																			
6	4	6	18	2	32	12	849	1	9	3																																																																																																																			
7	1	3	20	5	7	4	8	886	12	40																																																																																																																			
8	1	45	56	13	24	44	12	8	728	42																																																																																																																			
9	0	1	0	1	42	3	0	39	3	641																																																																																																																			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																			

				<div><div><div>0</div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div><div>5</div><div>6</div><div>7</div><div>8</div><div>9</div></div><div><table><tr><td>0</td><td>954</td><td>1</td><td>13</td><td>7</td><td>2</td><td>32</td><td>30</td><td>8</td><td>12</td><td>26</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>909</td><td>4</td><td>0</td><td>7</td><td>5</td><td>3</td><td>12</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>2</td><td>8</td><td>65</td><td>890</td><td>53</td><td>16</td><td>13</td><td>22</td><td>71</td><td>45</td><td>29</td></tr><tr><td>3</td><td>2</td><td>122</td><td>71</td><td>924</td><td>20</td><td>155</td><td>7</td><td>53</td><td>104</td><td>114</td></tr><tr><td>4</td><td>2</td><td>0</td><td>6</td><td>0</td><td>827</td><td>6</td><td>17</td><td>7</td><td>5</td><td>110</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>6</td><td>15</td><td>582</td><td>15</td><td>3</td><td>17</td><td>53</td></tr><tr><td>6</td><td>8</td><td>4</td><td>9</td><td>3</td><td>9</td><td>12</td><td>837</td><td>1</td><td>4</td><td>1</td></tr><tr><td>7</td><td>1</td><td>0</td><td>9</td><td>4</td><td>6</td><td>5</td><td>6</td><td>845</td><td>5</td><td>72</td></tr><tr><td>8</td><td>4</td><td>33</td><td>29</td><td>12</td><td>61</td><td>80</td><td>21</td><td>10</td><td>778</td><td>124</td></tr><tr><td>9</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>19</td><td>2</td><td>0</td><td>18</td><td>0</td><td>467</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></div><div><div></div><div>800</div><div>600</div><div>400</div><div>200</div><div>0</div></div></div>	0	954	1	13	7	2	32	30	8	12	26	1	0	909	4	0	7	5	3	12	4	13	2	8	65	890	53	16	13	22	71	45	29	3	2	122	71	924	20	155	7	53	104	114	4	2	0	6	0	827	6	17	7	5	110	5	0	1	0	6	15	582	15	3	17	53	6	8	4	9	3	9	12	837	1	4	1	7	1	0	9	4	6	5	6	845	5	72	8	4	33	29	12	61	80	21	10	778	124	9	1	0	1	1	19	2	0	18	0	467		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	954	1	13	7	2	32	30	8	12	26																																																																																																																			
1	0	909	4	0	7	5	3	12	4	13																																																																																																																			
2	8	65	890	53	16	13	22	71	45	29																																																																																																																			
3	2	122	71	924	20	155	7	53	104	114																																																																																																																			
4	2	0	6	0	827	6	17	7	5	110																																																																																																																			
5	0	1	0	6	15	582	15	3	17	53																																																																																																																			
6	8	4	9	3	9	12	837	1	4	1																																																																																																																			
7	1	0	9	4	6	5	6	845	5	72																																																																																																																			
8	4	33	29	12	61	80	21	10	778	124																																																																																																																			
9	1	0	1	1	19	2	0	18	0	467																																																																																																																			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																			
5	<u>0,0011</u>	1	<u>60000</u>	<div><div>Точность: 88.57%</div><div><div>0</div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div></div><div><div>5</div><div>6</div><div>7</div><div>8</div><div>9</div></div><div><table><tr><td>0</td><td>950</td><td>0</td><td>10</td><td>6</td><td>2</td><td>16</td><td>15</td><td>2</td><td>12</td><td>12</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1104</td><td>19</td><td>1</td><td>7</td><td>9</td><td>3</td><td>22</td><td>18</td><td>10</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>853</td><td>18</td><td>5</td><td>6</td><td>5</td><td>29</td><td>8</td><td>8</td></tr><tr><td>3</td><td>2</td><td>3</td><td>30</td><td>895</td><td>1</td><td>50</td><td>4</td><td>5</td><td>33</td><td>15</td></tr><tr><td>4</td><td>2</td><td>0</td><td>15</td><td>1</td><td>867</td><td>19</td><td>9</td><td>13</td><td>11</td><td>45</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>31</td><td>0</td><td>691</td><td>20</td><td>2</td><td>31</td><td>7</td></tr><tr><td>6</td><td>11</td><td>4</td><td>20</td><td>6</td><td>14</td><td>21</td><td>892</td><td>2</td><td>14</td><td>5</td></tr><tr><td>7</td><td>2</td><td>0</td><td>17</td><td>14</td><td>1</td><td>10</td><td>0</td><td>901</td><td>12</td><td>22</td></tr><tr><td>8</td><td>10</td><td>19</td><td>54</td><td>24</td><td>15</td><td>53</td><td>10</td><td>2</td><td>819</td><td>12</td></tr><tr><td>9</td><td>1</td><td>1</td><td>12</td><td>14</td><td>70</td><td>17</td><td>0</td><td>50</td><td>16</td><td>873</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></div><div><div></div><div>1000</div><div>800</div><div>600</div><div>400</div><div>200</div><div>0</div></div></div>	0	950	0	10	6	2	16	15	2	12	12	1	0	1104	19	1	7	9	3	22	18	10	2	2	2	853	18	5	6	5	29	8	8	3	2	3	30	895	1	50	4	5	33	15	4	2	0	15	1	867	19	9	13	11	45	5	0	2	2	31	0	691	20	2	31	7	6	11	4	20	6	14	21	892	2	14	5	7	2	0	17	14	1	10	0	901	12	22	8	10	19	54	24	15	53	10	2	819	12	9	1	1	12	14	70	17	0	50	16	873		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	950	0	10	6	2	16	15	2	12	12																																																																																																																			
1	0	1104	19	1	7	9	3	22	18	10																																																																																																																			
2	2	2	853	18	5	6	5	29	8	8																																																																																																																			
3	2	3	30	895	1	50	4	5	33	15																																																																																																																			
4	2	0	15	1	867	19	9	13	11	45																																																																																																																			
5	0	2	2	31	0	691	20	2	31	7																																																																																																																			
6	11	4	20	6	14	21	892	2	14	5																																																																																																																			
7	2	0	17	14	1	10	0	901	12	22																																																																																																																			
8	10	19	54	24	15	53	10	2	819	12																																																																																																																			
9	1	1	12	14	70	17	0	50	16	873																																																																																																																			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																			
6	<u>0,5</u>	1	60000	<div><div>Точность: 80.65%</div><div><div>0</div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div></div><div><div>5</div><div>6</div><div>7</div><div>8</div><div>9</div></div><div></div></div>																																																																																																																									

				<div><div><div>0</div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div><div>5</div><div>6</div><div>7</div><div>8</div><div>9</div></div><div><table><tr><td>934</td><td>0</td><td>4</td><td>4</td><td>1</td><td>12</td><td>7</td><td>1</td><td>7</td><td>3</td></tr><tr><td>0</td><td>1049</td><td>17</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>14</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>651</td><td>5</td><td>2</td><td>4</td><td>0</td><td>11</td><td>6</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>27</td><td>198</td><td>937</td><td>4</td><td>150</td><td>1</td><td>27</td><td>131</td><td>20</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>12</td><td>3</td><td>642</td><td>14</td><td>3</td><td>5</td><td>15</td><td>5</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>8</td><td>0</td><td>479</td><td>14</td><td>1</td><td>13</td><td>0</td></tr><tr><td>13</td><td>4</td><td>46</td><td>3</td><td>23</td><td>31</td><td>904</td><td>4</td><td>21</td><td>3</td></tr><tr><td>5</td><td>2</td><td>15</td><td>11</td><td>4</td><td>17</td><td>2</td><td>856</td><td>14</td><td>24</td></tr><tr><td>12</td><td>37</td><td>70</td><td>15</td><td>11</td><td>114</td><td>15</td><td>3</td><td>666</td><td>5</td></tr><tr><td>11</td><td>14</td><td>19</td><td>24</td><td>295</td><td>70</td><td>8</td><td>117</td><td>87</td><td>947</td></tr><tr><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></div><div><div>1000</div><div>800</div><div>600</div><div>400</div><div>200</div><div>0</div></div></div>	934	0	4	4	1	12	7	1	7	3	0	1049	17	0	0	1	4	3	14	1	1	1	651	5	2	4	0	11	6	1	1	27	198	937	4	150	1	27	131	20	1	0	12	3	642	14	3	5	15	5	2	1	0	8	0	479	14	1	13	0	13	4	46	3	23	31	904	4	21	3	5	2	15	11	4	17	2	856	14	24	12	37	70	15	11	114	15	3	666	5	11	14	19	24	295	70	8	117	87	947	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
934	0	4	4	1	12	7	1	7	3																																																																																																									
0	1049	17	0	0	1	4	3	14	1																																																																																																									
1	1	651	5	2	4	0	11	6	1																																																																																																									
1	27	198	937	4	150	1	27	131	20																																																																																																									
1	0	12	3	642	14	3	5	15	5																																																																																																									
2	1	0	8	0	479	14	1	13	0																																																																																																									
13	4	46	3	23	31	904	4	21	3																																																																																																									
5	2	15	11	4	17	2	856	14	24																																																																																																									
12	37	70	15	11	114	15	3	666	5																																																																																																									
11	14	19	24	295	70	8	117	87	947																																																																																																									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																									
7	<u>0,0011</u>	<u>5</u>	60000	<div><div>Точность: 90.12%</div><div><div>0</div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div></div><div><div>5</div><div>6</div><div>7</div><div>8</div><div>9</div></div><div></div><div><div>0</div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div><div>5</div><div>6</div><div>7</div><div>8</div><div>9</div></div><div><table><tr><td>958</td><td>0</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>14</td><td>10</td><td>2</td><td>8</td><td>9</td></tr><tr><td>0</td><td>1106</td><td>12</td><td>0</td><td>3</td><td>7</td><td>3</td><td>18</td><td>13</td><td>9</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>875</td><td>18</td><td>6</td><td>1</td><td>4</td><td>22</td><td>6</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>22</td><td>909</td><td>1</td><td>43</td><td>3</td><td>7</td><td>26</td><td>14</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>15</td><td>1</td><td>894</td><td>12</td><td>8</td><td>8</td><td>9</td><td>42</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>30</td><td>0</td><td>726</td><td>17</td><td>2</td><td>33</td><td>6</td></tr><tr><td>7</td><td>4</td><td>16</td><td>5</td><td>9</td><td>20</td><td>904</td><td>0</td><td>11</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>0</td><td>15</td><td>11</td><td>1</td><td>9</td><td>1</td><td>922</td><td>13</td><td>27</td></tr><tr><td>7</td><td>18</td><td>59</td><td>22</td><td>15</td><td>49</td><td>8</td><td>3</td><td>845</td><td>15</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>8</td><td>9</td><td>52</td><td>11</td><td>0</td><td>44</td><td>10</td><td>884</td></tr><tr><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></div><div><div>1000</div><div>800</div><div>600</div><div>400</div><div>200</div><div>0</div></div></div>	958	0	9	5	1	14	10	2	8	9	0	1106	12	0	3	7	3	18	13	9	1	2	875	18	6	1	4	22	6	1	2	3	22	909	1	43	3	7	26	14	1	0	15	1	894	12	8	8	9	42	2	1	1	30	0	726	17	2	33	6	7	4	16	5	9	20	904	0	11	2	2	0	15	11	1	9	1	922	13	27	7	18	59	22	15	49	8	3	845	15	0	1	8	9	52	11	0	44	10	884	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
958	0	9	5	1	14	10	2	8	9																																																																																																									
0	1106	12	0	3	7	3	18	13	9																																																																																																									
1	2	875	18	6	1	4	22	6	1																																																																																																									
2	3	22	909	1	43	3	7	26	14																																																																																																									
1	0	15	1	894	12	8	8	9	42																																																																																																									
2	1	1	30	0	726	17	2	33	6																																																																																																									
7	4	16	5	9	20	904	0	11	2																																																																																																									
2	0	15	11	1	9	1	922	13	27																																																																																																									
7	18	59	22	15	49	8	3	845	15																																																																																																									
0	1	8	9	52	11	0	44	10	884																																																																																																									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																									
8	0,0011	5	<u>100</u>	<div><div>Точность: 31.07%</div><div><div>0</div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div></div><div><div>5</div><div>6</div><div>7</div><div>8</div><div>9</div></div><div></div></div>																																																																																																														



### Вывод:

Однослойный перцептрон отлично решает задачу распознавания изображений, однослойную нейронную сеть (НС) можно обучить до точности больше 90% верных ответов на тестовой выборке, которая не была задействована в процессе обучения. Скорость обучения сильно влияет на

обучение перцептрона, так как от данного параметра напрямую зависит обучение, если сеть будет изменять свои параметры слишком сильно, то она скорее всего пролетит мимо глобального минимума, поэтому рекомендуется использовать небольшое значение для скорости обучения.

Рекомендации для распознавания:

- 1) Рекомендуется начинать экспериментировать с малых подборов параметров для обучения, например, в данной работе оптимальными параметрами считаются: скорость обучения = 0,0011, количество эпох = 1, количество объектов в обучении = 10000, алгоритм обучения быстро работает и достигает результата в 83.17%.
- 2) Данные для распознавания и для обучения следует делать в одном формате, например, 28x28 пикселей, фон черный, цифры белые, цифры располагаются в середине картинки.
- 3) Данные для обучения должны быть одинаково распределены, например, классов цифр 10, всего изображений 6000 тысяч, значит изображений каждого класса должно быть около 600.