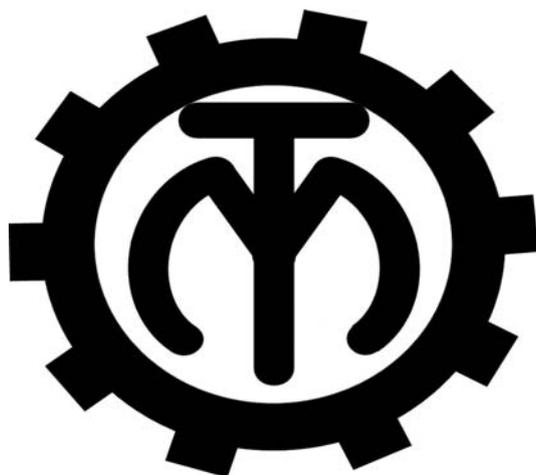


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В РОБОТОТЕХНИКЕ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов направления подготовки  
15.03.06 «Мехатроника и робототехника»  
очной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 621.01  
ББК 65.304.15  
Н79

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «28» сентября 2023 г.,  
протокол № 2

Составители: д-р техн. наук, проф. В. М. Пашкевич;  
канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. М. Свирепа

Методические рекомендации предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Нейронные сети в робототехнике» студентами направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» очной формы обучения. Изложены методики выполнения практических работ.

Учебное издание

## НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Метод Байеса.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Построение решающих правил.....	7
3 Лабораторная работа № 3. Построение нечетких множеств.....	11
4 Лабораторная работа № 4. Нечеткий вывод.....	12
5 Лабораторная работа № 5. Метрическое распознавание образов.....	14
6 Лабораторная работа № 6. Обучение распознаванию образов.....	17
7 Лабораторная работа № 7. Построение нейронных сетей .....	20
8 Лабораторная работа № 8. Методы обучения сетей.....	24
Список литературы.....	25

## **Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ**

### ***Общие требования безопасности***

1 Для работы на ПЭВМ в компьютерном классе допускаются студенты, прошедшие обучение и проверку знаний по мерам безопасности.

2 Студенты должны соблюдать правила внутреннего распорядка. Не допускается находиться в классах в верхней одежде, в состоянии алкогольного, токсического или наркотического опьянения.

3 При проведении лабораторных работ необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

### ***Требования безопасности перед началом работы***

1 Внимательно изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы, а также безопасные приемы его выполнения.

2 В случае неисправности оборудования немедленно сообщить об этом преподавателю и до ее устранения к работе не приступать (работать на неисправном оборудовании запрещается).

### ***Требования безопасности во время работы***

Студенту при работе на ПЭВМ запрещается:

- прикасаться к задней стенке системного блока (процессора) при включенном питании;
- загромождать верхние панели устройств ненужными бумагами и посторонними предметами;
- допускать попадания влаги на поверхность системного блока, монитора, рабочую поверхность клавиатуры и другие устройства.

### ***Требования безопасности по окончании работы***

- 1 Произвести закрытие всех активных задач.
- 2 Отключить питание системного блока (процессора).
- 3 Осмотреть и привести в порядок рабочее место.
- 4 Предупредить преподавателя обо всех, даже малейших и незначительных, неисправностях оборудования.

# 1 Лабораторная работа № 1. Метод Байеса

**Цель работы:** изучение теоретических основ и получение практических навыков применения теоремы Байеса.

## Теоретические сведения

Метод Байеса основан на вычислении условной вероятности появления такого события, как диагноз  $D_i$  при появлении конкретной реализации комплекса признаков  $S_j$ .

Условную вероятность существования диагноза  $D_i$  при обнаружении признака  $S_j$  можно определить, используя формулу Байеса

$$P(D_i | S_j) = P(D_i) \frac{P(S_j | D_i)}{P(S_j)}. \quad (1)$$

Для принятия решения о диагнозе при использовании набора (комплекса) признаков  $S^*$  применяется обобщенная формула Байеса

$$P(D_i | S^*) = P(D_i) \frac{\prod_{j=1}^k P(S_j | D_i)}{\sum_{i=1}^n P(D_i) \prod_{j=1}^k P(S_j | D_i)}, \quad (2)$$

где  $k$  – количество признаков;

$n$  – количество диагнозов.

## Задание

По результатам наблюдений за образцами 40 передач построить систему распознавания их состояний по методу Байеса.

В качестве симптомов выбраны признаки:

$S_1$  – повышенная вибрация корпуса;

$S_2$  – превышение допустимого уровня шума на 2...4 дБ.

В качестве диагностируемых состояний приняты:

$D_1$  – износ шестерен;

$D_2$  – увеличенный радиальный зазор подшипника;

$D_3$  – нормальное (работоспособное) состояние (таблица 1).

Порог принятия гипотезы выбрать равным 0,7.

Таблица 1 – Результаты наблюдений за передачами

Номер передачи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$S_1$	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S_2$	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$D_1$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$D_2$	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$D_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Продолжение таблицы 1

Номер передачи	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
$S_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
$D_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$D_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$D_3$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

### ***Порядок выполнения работы***

1 Разместить данные на рабочем листе *MS Excel* (рисунок 1).

2 Рассчитать априорные вероятности диагнозов и признаков, определив предварительно число передач, имеющих соответствующие признаки.

3 Рассчитать вероятности принадлежности объектов классам  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  по наблюдаемым единичным признакам  $S_1$  и  $S_2$ , а также по их отсутствию  $\bar{S}_1$  и  $\bar{S}_2$  по формуле (1).

4 Рассчитать вероятности принадлежности объектов классам  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  по наблюдаемым парным признакам  $S_1$  и  $S_2$ , а также их отсутствию  $\bar{S}_1$  и  $\bar{S}_2$  по формуле (2).

5 Определить наиболее информативные комплексы признаков, превышающие порог принятия гипотезы.

### ***Содержание отчета***

1 Название работы.

2 Цель работы.

3 Априорные вероятности диагнозов и признаков.

4 Вероятности принадлежности объектов классам  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  по наблюдаемым единичным и парным признакам.

5 Рабочий лист *MS Excel* с результатами расчетов.

6 Выводы.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	S1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
3	S2	0	1	0	0	1	1	1	1	0
4	D1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	D2	0	0	1	1	1	1	1	1	0
6	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7										
8										
9	Наблюдений всего				n(D1)	n(D2)	n(D3)		n(S1)	n(S2)
10	40				2	6	32		3	7
11										
12					p(D1)	p(D2)	p(D3)		p(S1)	p(S2)
13					0,05	0,15	0,8		0,075	0,175
14										
15										
16	P(D1 S1)	P(D2 S1)	P(D3 S1)			p(D1 S1+S2)	p(D2 S1+S2)		p(D3 S1+S2)	
17	0,333333333	0,666666667	0			0,272727273	0,727272727		0	
18	P(D1 notS1)	P(D2 notS1)	P(D3 notS1)			p(D1 notS1+S2)	p(D2 notS1+S2)		p(D3 notS1+S2)	
19	0,666666667	0,333333333	1			0,096774194	0,516129032		0,387096774	
20	P(D1 S2)	P(D2 S2)	P(D3 S2)			p(D1 S1+notS2)	p(D2 S1+notS2)		p(D3 S1+notS2)	
21	0,142857143	0,666666667	0,285714285			0,428571429	0,571428571		0	
22	P(D1 notS2)	P(D2 notS2)	P(D3 notS2)			p(D1 notS1+notS2)	p(D2 notS1+notS2)		p(D3 notS1+notS2)	
23	0,857142857	0,333333333	0,714285714			0,015706806	0,041884817		0,942408377	

Рисунок 1 – Пример расчетного листа в MS Excel

### Контрольные вопросы

- 1 Каковы достоинства и недостатки метода Байеса?
- 2 Какие комплексы признаков наиболее информативны для метода Байеса?
- 3 Как строятся решающие правила по методу Байеса?

## 2 Лабораторная работа № 2. Построение решающих правил

**Цель работы:** ознакомление с принципами построения решающих правил на основе коэффициентов определенности.

### Задание

Построить на основе коэффициентов определенности и базы данных о состоянии механических передач систему для распознавания двух состояний:

$D_1$  – нормальное состояние («годна»);

$D_2$  – критическое состояние («не годна»).

В качестве критериев распознавания были выбраны следующие признаки:

$S_1$  – шум передачи не превышает 80 дБ;

$S_2$  – уровень виброускорения на корпусе передачи свыше 3 м/с<sup>2</sup>;

$S_3$  – содержание железа в масле менее 150 мг/л;

$S_4$  – температура корпуса передачи не превышает 70 °С.

В таблице 2 приведена база данных с наблюдениями за передачами, соответствующими состояниям  $D_1$  и  $D_2$ .

При этом значение «1» соответствует наличию признака  $S_i$ , а значение «0» – его отсутствию.

Таблица 2 – Наблюдения за передачами с признаками  $S_1 \dots S_4$

Номер объекта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$S_1$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$S_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S_3$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$D_1$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$D_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 2

Номер объекта	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
$S_1$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$S_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
$S_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$D_1$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$D_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 2

Номер объекта	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
$S_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
$S_2$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
$S_3$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
$D_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$D_2$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

### ***Порядок выполнения работы***

1 Разместить данные на рабочем листе *MS Excel* (рисунок 2).

2 Приняв в качестве базового состояния  $D_1$  (нормальное состояние), рассчитать значения коэффициентов определенности для каждого из признаков  $S_i$ .

3 Проверить качество полученной системы коэффициентов определенности, оценив с их помощью принадлежности объектов состояниям  $D_1$  и  $D_2$ . В качестве порога для принятия гипотезы выбрать положительное (отрицательное) значение коэффициента определенности для комбинации признаков.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	№	1	2	3	4	5	6	7	8
2	S1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	S2	0	0	0	0	0	0	0	0
4	S3	1	1	1	1	1	1	1	1
5	S4	0	0	0	0	0	0	0	0
6	D1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	D2	0	0	0	0	0	0	0	0
8	D-?	0,9746875	0,9746875	0,9746875	0,974688	0,974688	0,974688	0,974688	0,97
9									
10									
11									
12									
13		S1	S2	S3	S4	п общ			
14	D1								
15	D2								
16									
17	МД								
18	МНД								
19									
20	CF								

Рисунок 2 – Пример расчетного листа в *MS Excel*

Для автоматизации процедуры можно использовать *VBA*-макрос следующего содержания:

Sub Main()

CF1 = 0.8

CF2 = -0.5

CF3 = -0.25

CF4 = 0.15

For i = 1 To 60

' значения признаков S и диагноза D

S1 = Range("a2").Offset(0, i)

S2 = Range("a3").Offset(0, i)

S3 = Range("a4").Offset(0, i)

S4 = Range("a5").Offset(0, i)

D1 = Range("a6").Offset(0, i)

' значение коэффициента определенности  $CFS_i$  для текущего

' признака  $S_i$

CFS1 = CFS(CF1, S1)

CFS2 = CFS(CF2, S2)

CFS3 = CFS(CF3, S3)

CFS4 = CFS(CF4, S4)

*' комбинация четырех коэффициентов определенности*

$c_{12} = CF_{12}(CFS_1, CFS_2)$

$c_{123} = CF_{12}(c_{12}, CFS_3)$

$c_{1234} = CF_{12}(c_{123}, CFS_4)$

*' записать вычисленный коэффициент определенности для  $D_1$*

$Range("a8").Offset(0, i) = c_{1234}$

Next i

End Sub

Function CFS(CF, S) *' функция для вычисления k-та определенности*

If S = 1 Then

CFS = CF

Else

If CF >= 0 Then CFS = 1 – CF

If CF < 0 Then CFS = 1 + CF

End If

End Function

Function CF12(CF1, CF2) *' функция для расчета комбинации*

*' коэффициентов определенности*

$CF_{12} = CF_1 + CF_2 * (1 - Abs(CF_1))$

End Function

4 Определить величину ошибки системы распознавания, если для принятия гипотезы используется значение коэффициента определенности для комбинации признаков, превышающее 0,7.

### ***Содержание отчета***

1 Название работы.

2 Цель работы.

3 Наблюдения за передачами с признаками  $S_1 \dots S_4$ .

4 VBA-макрос.

5 Рабочий лист *MS Excel* с полученными результатами.

6 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1 Что такое решающее правило?

2 В каком случае решающее правило не может быть построено?

3 При каких условиях можно применять решающее правило?

### 3 Лабораторная работа № 3. Построение нечетких множеств

**Цель работы:** закрепление знаний о нечетких множествах, приобретение навыков проведения нечетких операций и построения нечетких отношений.

#### Задание

По вариантам, выданным преподавателем, построить функции принадлежности нечетких переменных для системы управления натягом хонинговальных брусков для набора правил:

- 1) «Если момент на хоне высокий, то натяг низкий»;
- 2) «Если момент на хоне средний, то натяг средний»;
- 3) «Если момент на хоне низкий, то натяг высокий».

#### Порядок выполнения работы

1 В качестве функции принадлежности принять треугольную или трапецевидную функции в форме выражений

$$\mu(M) = \frac{M - M_{cp}}{\Delta M}, \quad (3)$$

или

$$\mu(M) = \frac{M_{cp} - M}{\Delta M}, \quad (4)$$

где  $M$  – текущее значение момента, Н·м;

$M_{cp}$  – значение момента, соответствующее началу (концу) переходной зоны, Н·м;

$\Delta M$  – ширина переходной зоны, Н·м.

Интервал рабочих моментов – 0...400 Н·м; интервал натягов – 4...12 Н.

2 Построить графики функций принадлежности.

Пример рабочего листа приведен на рисунке 3.

#### Содержание отчета

- 1 Название и цель работы.
- 2 Исходные данные.
- 3 Графики функций принадлежности нечетких подмножеств лингвистических переменных.
- 4 Выводы.

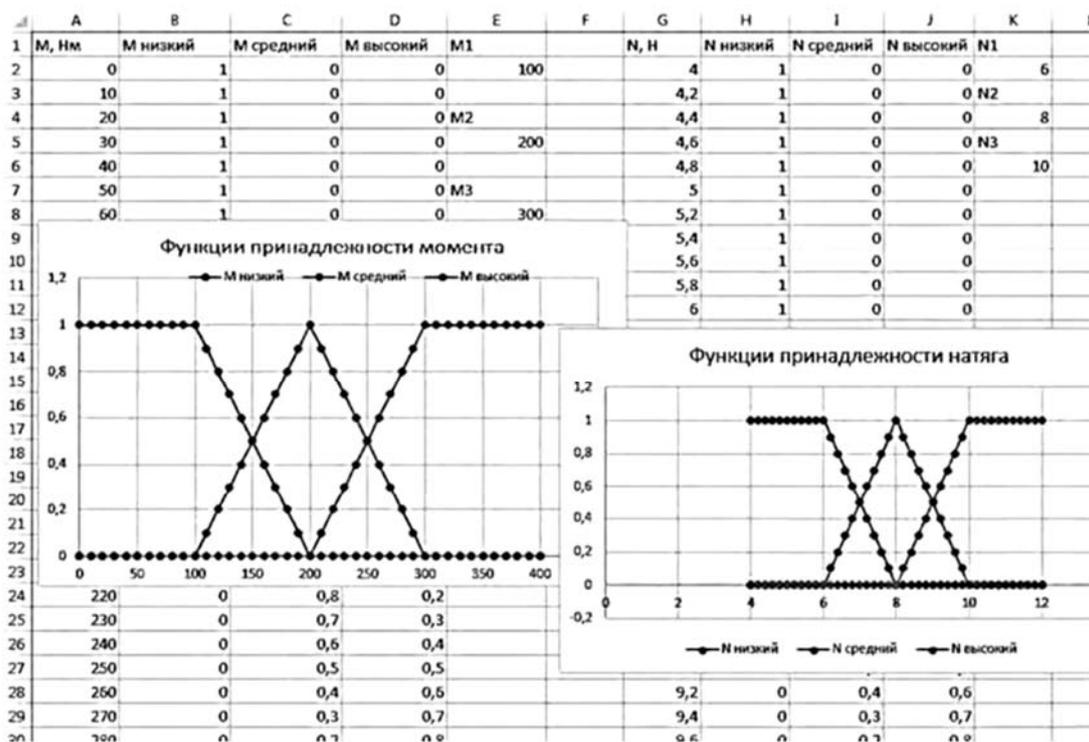


Рисунок 3 – Пример оформления отчета

### Контрольные вопросы

- 1 Чем отличается нечеткое множество от обычного?
- 2 Какие функции нечеткости используют на практике?
- 3 Что такое функция принадлежности?

## 4 Лабораторная работа № 4. Нечеткий вывод

**Цель работы:** закрепление знаний о структуре системы нечеткого управления, приобретение навыков применения алгоритмов нечеткого логического вывода.

### Задание

Используя функции принадлежности, построенные в практической работе № 3, определить функцию управления натягом хонинговальных брусков по величине момента на приводном валу инструмента по методу центра тяжести (Мамдани).

### Порядок выполнения работы

Для каждого дискретного значения момента (0...400 Н·м) поочередно необходимо выполнить следующее.

- 1 Определить истинность левой части правил («Если») – для множеств «Момент низкий», «Момент средний», «Момент высокий».

Для поиска позиции и содержимого соответствующих ячеек рекомендуется использовать функции ПОИСКПОЗ и ИНДЕКС.

2 Рассчитать функции принадлежности для правой части правил («То») – для множеств «Натяг низкий», «Натяг средний», «Натяг высокий»:

$$\mu_{ТО}(x) = \mu_{ЕСЛИ}(x) \cdot \mu_{ПРАВИЛО}(x).$$

3 Определить композицию (суперпозицию) нечетких множеств методом «Или».

$$\mu_{\Sigma}(x) = \max\{\mu_{ТО}(x)\}.$$

4 Провести дефаззификацию (переход к единственному значению) переменной по методу Мамдани (на основе определения центра тяжести).

С этой целью рассчитать накопленные суммы функций принадлежности от начала до каждой текущей позиции в столбце суперпозиций (сумма слева) и от конца до текущей позиции (сумма справа).

Найти модуль разницы сумм слева и справа (столбец «Разность»).

Найти минимальную разницу сумм слева и справа, приближенно соответствующую центру тяжести суперпозиции нечетких множеств. Определить индекс соответствующей ячейки и требуемый натяг брусков хона.

5 Построить график управления натягом хонинговальных брусков по величине момента на приводном валу.

Пример рабочего листа с отчетом приведен на рисунке 4.

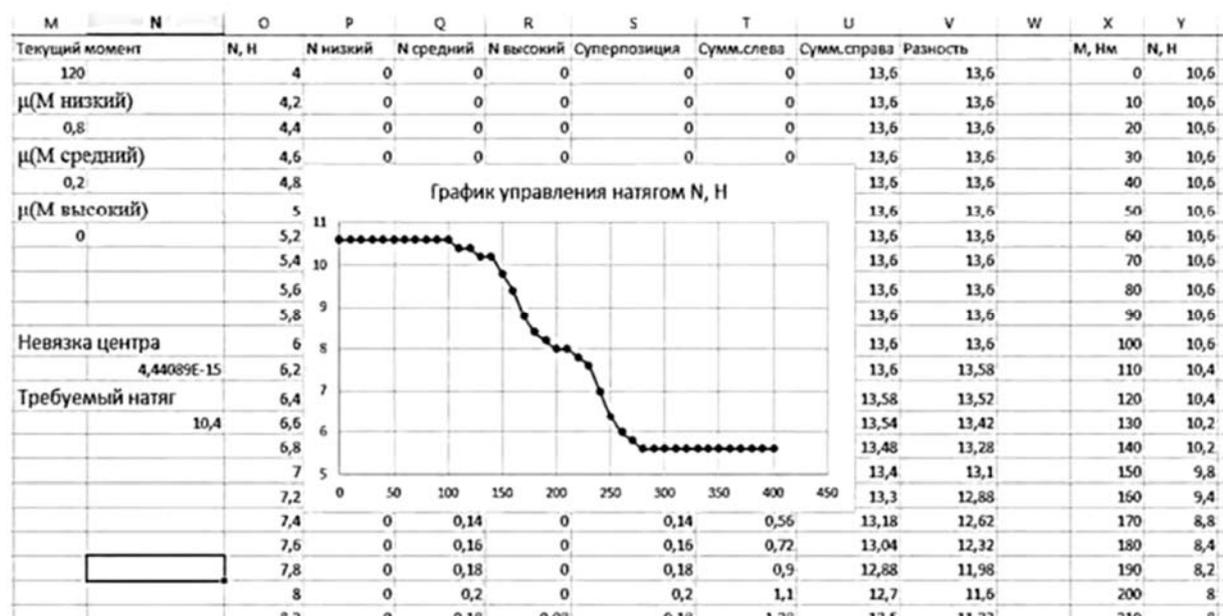


Рисунок 4 – Пример оформления отчета

### ***Содержание отчета***

- 1 Название и цель работы.
- 2 Исходные данные.
- 3 Процедура нечеткого логического вывода в графическом и математическом виде.
- 4 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 В чем состоит суть нечеткого управления?
- 2 Назовите этапы нечеткого логического вывода.
- 3 В чем сущность дефаззификации по методу Мамдани?
- 5 Что такое фаззификация и дефаззификация?

## **5 Лабораторная работа № 5. Метрическое распознавание образов**

***Цель работы:*** ознакомление с методами метрического распознавания образов, приобретение навыков применения алгоритмов метрического распознавания образов.

### **Задание**

Для оценки состояния подшипниковых опор редуктора в сборе предложено использовать сигналы двух преобразователей виброускорений  $x_1$  и  $x_2$ , смонтированных, соответственно, над передней и задней опорами ведомого вала. Установлено, что на основе анализа этих сигналов можно разделять редукторы на два следующих класса:

- класс 1: работоспособное состояние (замена подшипников не требуется);
- класс 2: критическое состояние (требуется замена подшипников, износ которых достиг предельного значения).

Центроидным методом определить эталоны (средние значения)  $E_1$  и  $E_2$  этих классов.

Определить состояние объектов  $O_1$  и  $O_2$  по сигналам преобразователей  $x_1(O_1)$ ,  $x_2(O_1)$  и  $x_1(O_2)$ ,  $x_2(O_2)$  на основе методики метрического распознавания образов.

Построить систему метрического распознавания образов и изучить ее чувствительность к изменению параметров распознавания.

Исходные данные приведены в таблице 3. Первые 10 образцов принадлежат классу 1, остальные – к классу 2.

Таблица 3 – Исходные данные

$x_1$	1,5	1,9	3,8	2,5	3,8	2,5	2	1,3	3,8	2	?
$x_2$	1	2,3	3,3	4,2	5,5	1,9	5	4	1	4,1	?
											$E_1$

Продолжение таблицы 3

$x_1$	12,8	10	8,4	12,2	10,8	13,3	8,2	10,4	10,5	13,3	?
$x_2$	16,3	12	10,2	7,5	15,8	8,8	16,4	10,6	7,8	13,6	?
											$E_2$

Продолжение таблицы 3

$x_1$	7	7
$x_2$	12	8
	$O_1$	$O_2$

### ***Порядок выполнения работы***

1 Построить графическое изображение образцов и рассчитанных эталонов  $E_1$  и  $E_2$ , а также объектов  $O_1$  и  $O_2$  в пространстве признаков  $x_1$  и  $x_2$ . Выделить маркерами разных типов образцы, центры и эталоны.

2 В качестве меры расстояния между эталоном и объектом принять обобщенную метрику

$$L = M \sqrt{\sum_{k=1}^2 |E_k - O_k|^N}, \quad (5)$$

где 2 – размерность пространства признаков;

$N, M$  – показатель степени обобщенного расстояния.

Определить расстояния от исследуемых объектов  $O_1$  и  $O_2$  до эталонов классов  $E_1$  и  $E_2$  при различных показателях степени  $M$  и  $N$  обобщенного расстояния, а также определить надежности принадлежности объектов классам 1 и 2.

3 Порог надежности для принятия гипотезы о принадлежности объекта выбранному классу состояний установить равным 0,7.

4 Оценить влияние показателей  $N, M$  (меры резкости пространства) на надежность распознавания.

Пример отчета представлен на рисунке 5.

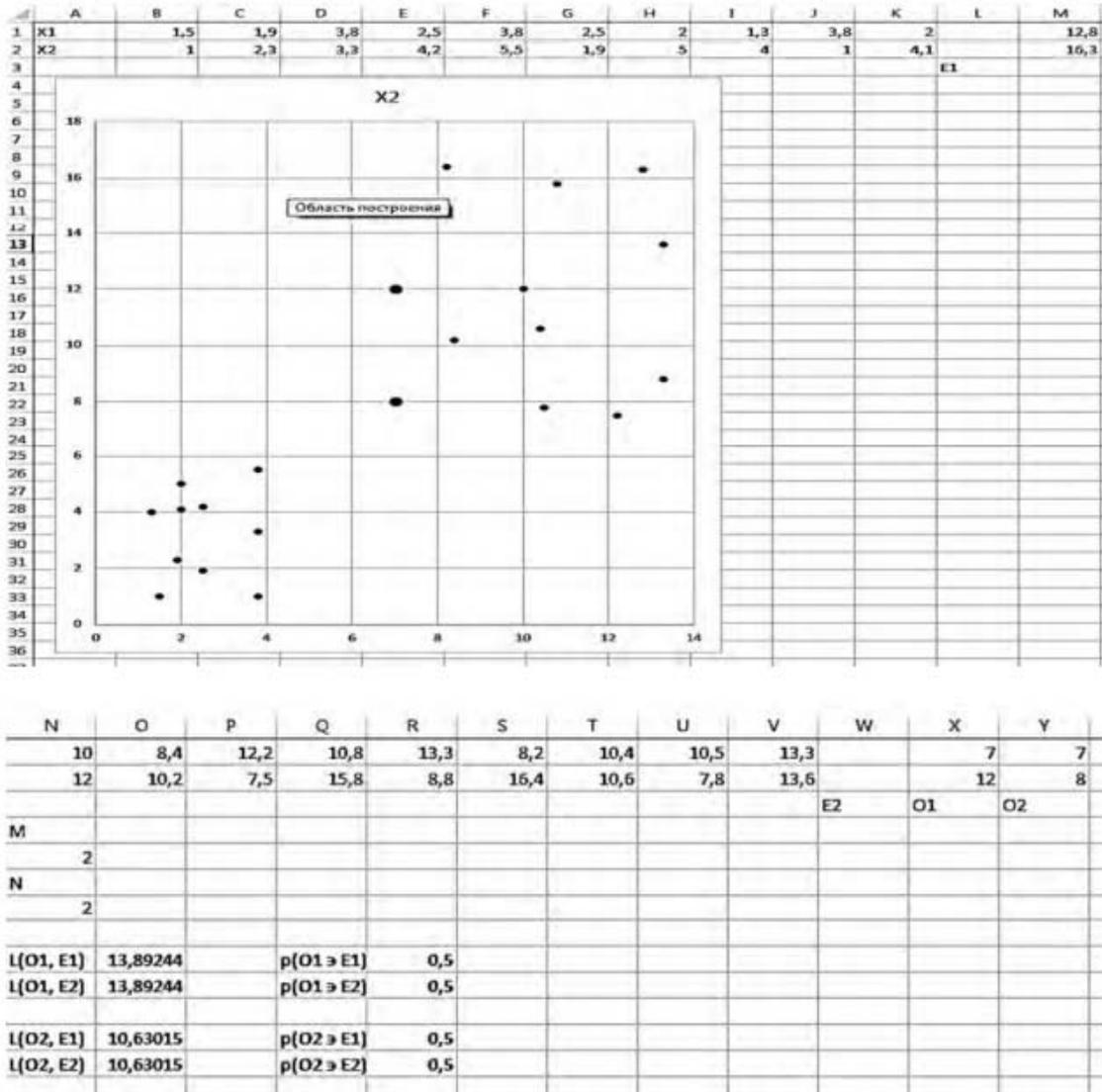


Рисунок 5 – Примерный вид отчета по работе

### *Содержание отчета*

- 1 Название и цель работы.
- 2 Исходные данные.
- 3 Графическое изображение исследуемых объектов и обучающих множеств.
- 4 Результаты расчетов.
- 5 Выводы.

### *Контрольные вопросы*

- 1 В чем заключается процедура метрического распознавания образов?
- 2 Что такое метрика пространства?
- 3 Как влияет метрика пространства на надежность распознавания?

## 6 Лабораторная работа № 6. Обучение распознаванию образов

**Цель работы:** приобретение навыков применения алгоритмов обучения распознаванию образов.

### Задание

Обучить систему распознаванию двух классов состояний механических передач, используя метод, базирующийся на процедуре обучения. Классами состояний являются:

- работоспособное (класс 1);
- неработоспособное (класс 2).

При этом в качестве представителей первого класса выбраны объекты  $P_1$  и  $P_2$ , а в качестве представителей второго класса – объекты  $P_3$  и  $P_4$ . Объекты характеризуются двумерным набором признаков –  $x_1$  и  $x_2$ .

Варианты заданий приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные

Класс 1				Класс 2			
$P_1$		$P_2$		$P_3$		$P_4$	
$x_1$	$x_2$	$x_1$	$x_2$	$x_1$	$x_2$	$x_1$	$x_2$
0	1	2	1	6	7	8	9

### Порядок выполнения работы

1 Расположить данные, весовые коэффициенты и норму обучения в ячейках рабочего листа, построить точечные графики классов, выделив их рядами разных цветов.

2 Добавить к диаграмме ряд данных в форме, соответствующей дискриминантной функции  $d = w_0 + w_1x_1 + w_2x_2$ . Считая, что для построенной диаграммы  $x = x_1$ , а  $y = x_2$ , построить в интервале изменения переменной  $x_1$  в пределах обоих классов (т. е. 0...8) соответствующую дискриминантной функции линию

$$y = -\frac{w_0}{w_2} - \frac{w_1}{w_2}x. \quad (6)$$

Приблизительный вид рабочего листа с отчетом приведен на рисунке 6.

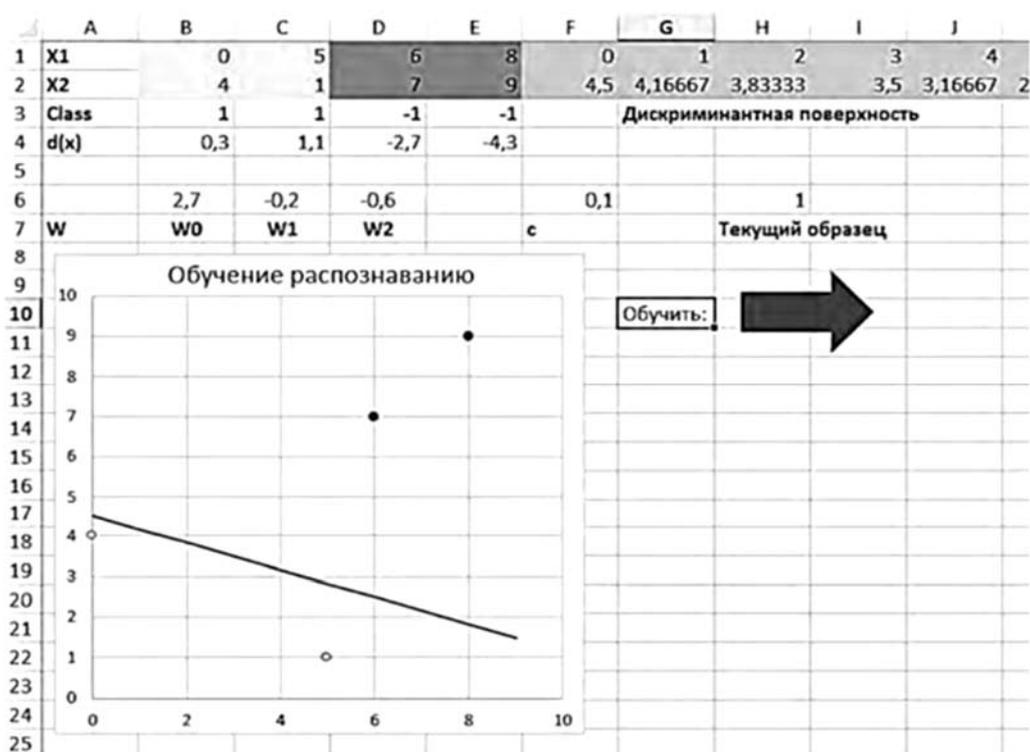


Рисунок 6 – Примерный вид отчета по работе

3 Используя алгоритм обучения, найти выражение для дискриминантной функции, контролируя процесс обучения визуально. Вычисление функции принадлежности ведется по формуле

$$z = \text{sign}(d) = \text{sign}(w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2), \quad (7)$$

которая равна +1 для класса 1 и -1 для класса 2. Корректировка весовых коэффициентов ведется по выражению

$$w_i^{n+1} = w_i^n + c \cdot (z_t - z_r) x_i, \quad (8)$$

где  $c$  – мера обучения,  $c = 0 \dots 1$ ;

$z_t$  и  $z_r$  – требуемое и действительное значения функции принадлежности.

4 Изучить скорость сходимости вычислений при изменении меры обучения  $c$  в пределах  $0,01 \dots 1$ .

Для автоматизации вычислений рекомендуется использовать VBA-макрос следующего вида:

```
Sub Main()
```

```
' Загрузка данных
```

```
    Curr_item = Range("h6")
```

```
' номер текущего образца
```

```
x1 = Range("a1").Offset(0, Curr_item)
x2 = Range("a2").Offset(0, Curr_item)
```

```
c = Range("f6")           ' скорость обучения
w0 = Range("b6")         ' коэффициенты дискриминантной функции
w1 = Range("c6")
w2 = Range("d6")
```

```
d_targ = Range("a3").Offset(0, Curr_item) ' требуемое значение
дискриминантной функции для текущего образца
```

```
d_real = Range("a4").Offset(0, Curr_item) ' значение дискрими-
нантной функции для текущего образца (без sign)
```

```
If d_real = 0 Then       ' защита от деления на ноль
    d_real = 0
```

```
Else
```

```
    d_real = d_real / Abs(d_real) ' функция sign
```

```
End If
```

```
' Проверка правильности распознавания
```

```
If d_real = d_targ Then   ' распознано верно
    MsgBox ("Образец № " & Curr_item & " распознан верно!")
```

```
If Curr_item = 4 Then    ' перейти к следующему образцу
    Curr_item = 1
```

```
Else
```

```
    Curr_item = Curr_item + 1
```

```
End If
```

```
Range("h6") = Curr_item ' записать номер следующего образца
для распознавания
```

```
Else
```

```
' Скорректировать весовые коэффициенты
```

```
MsgBox ("Образец № " & Curr_item & " распознан неверно!" &
Chr(13) & "Корректируем дискриминантную функцию !")
```

```
w0 = w0 + c * (d_targ - d_real) * 1
```

```
w1 = w1 + c * (d_targ - d_real) * x1
```

```
w2 = w2 + c * (d_targ - d_real) * x2
```

```
Range("b6") = w0 ' записать скорректированные коэффи-
циенты дискриминантной функции
```

```
Range("c6") = w1
```

```
Range("d6") = w2
```

```

If Curr_item = 4 Then ' перейти к следующему образцу
    Curr_item = 1
Else
    Curr_item = Curr_item + 1
End If

```

```

Range("h6") = Curr_item ' записать номер следующего образца
для распознавания
End If

```

End Sub

### ***Содержание отчета***

- 1 Название и цель работы.
- 2 Исходные данные.
- 3 Графическое изображение исследуемых объектов и обучающих множеств.
- 4 Результаты расчетов.
- 5 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 В чем заключается смысл обучения распознаванию образов?
- 2 Что такое дискриминантная функция?
- 3 В чем заключается проблема линейной делимости образов?

## **7 Лабораторная работа № 7. Построение нейронных сетей**

***Цель работы:*** приобретение практических навыков построения нейронных сетей.

### **Задание**

С помощью нейронной сети, состоящей из одного нейрона с одним входом  $x_1$  (рисунок 7), построить процедуру, позволяющую предсказать изменение размера токарного резца  $l$  во времени  $t$ , связанное с его износом.

Для представленного нейрона принять

$$\Sigma = w_0 + w_1 x_1; \quad y = f(\Sigma) = \Sigma \cdot 1.$$

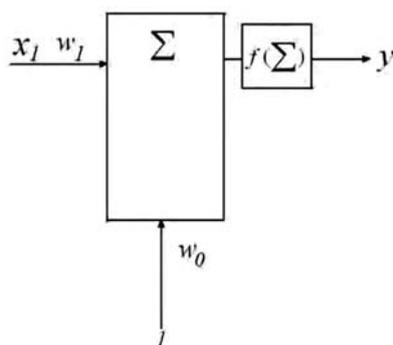


Рисунок 7 – Схема нейрона для моделирования износа резца

Предполагается, что размер резца (расстояние от некоторой измерительной базы на передней поверхности резца до его режущей кромки) изменяется прямо пропорционально времени при обработке с постоянными режимами резания (т. е. когда путь резания пропорционален времени).

Таким образом, вход нейрона  $x_1$  соответствует времени  $t$ ; выходная переменная  $y$  – размеру  $l$ .

Экспериментальные данные приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Данные для обучения

$t$	0	5	10	15	20	25
$l_{\text{экс}}$	10,5	9,9	9,5	9,1	8,3	7,8

Принять в качестве модели износа зависимость в форме

$$\hat{l} = l_0 + kt, \quad (9)$$

где  $\hat{l}$  – текущий размер резца;

$l_0$  – размер резца в начальный момент времени;

$k$  – интенсивность износа во времени;

$t$  – текущий момент времени.

### **Порядок выполнения работы**

1 Перенести данные на рабочий лист, построить их график, разместить также на нем ячейки для нормы обучения  $c$  и коэффициентов  $l_0$  и  $k$ .

Примерный вид отчета приведен на рисунке 8.

2 Найти зависимость размера резца от времени, обучив нейронную сеть.

При нахождении коэффициентов  $l_0$  и  $k$  использовать упрощенные формулы, например,

$$l_{0\ n+1} = l_{0\ n} + c \cdot (l_{\text{экс}} - l_{\text{мод}}); \quad (10)$$

$$k_{n+1} = k_n + c \cdot (l_{\text{экс}} - l_{\text{мод}}), \quad (11)$$

где  $k_{n+1}$  и  $k_n$  – значения коэффициента  $k$  после и до корректировки;

$c$  – коэффициент скорости обучения (норма обучения);

$l_{\text{экс}}$  – экспериментальное (требуемое) значение размера, приведенное в таблице 5;

$l_{\text{мод}}$  – модельное (расчетное) значение размера, полученное по формуле (9).

В качестве начальных приближений принять значения коэффициентов, равные нулю. Коэффициент скорости обучения принять равным 0...1.

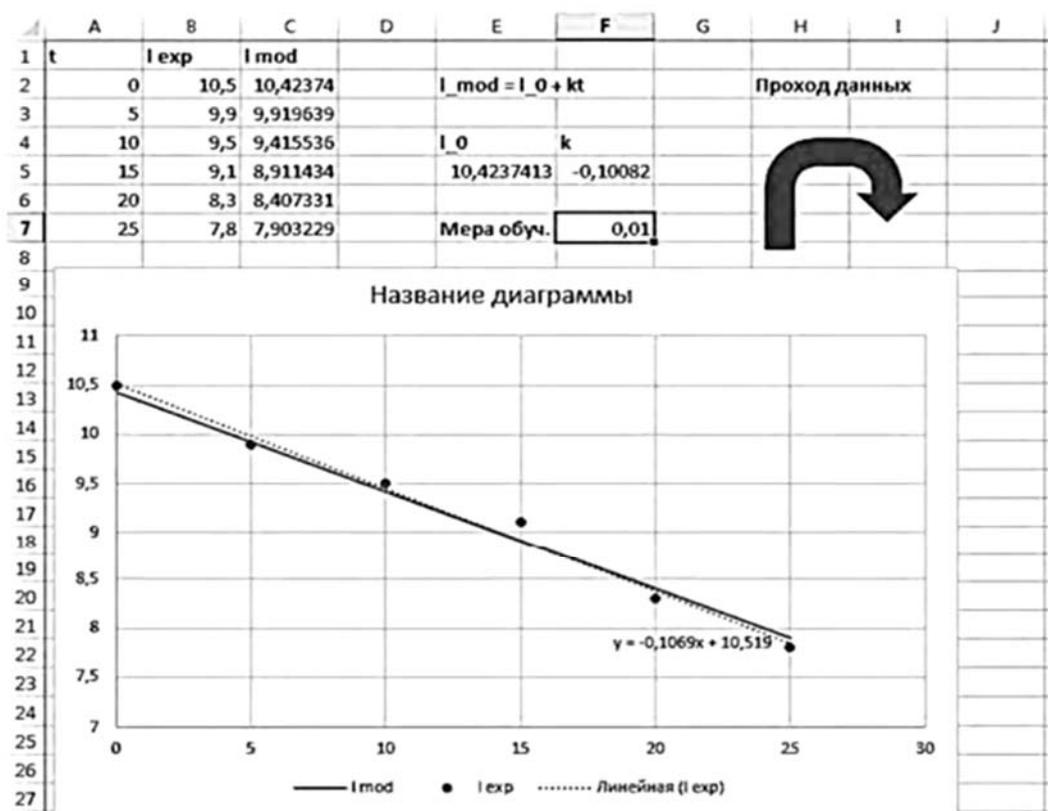


Рисунок 8 – Примерный вид отчета по работе

3 Сравнить результаты, полученные в п. 2, с решением, полученным методом наименьших квадратов.

4 Исследовать влияние нормы обучения  $c$  на скорость сходимости и точность результата.

5 Предложить условия останова обучения.

Обучение вести с помощью VBA-макроса, например:

```
Sub Main()
```

```
    c = Range("f7") ' норма обучения
```

```

L0 = Range("e5") ' начальный размер
k = Range("f5") ' коэффициент интенсивности износа

For i = 1 To 6
    t = Range("a1").Offset(i, 0) ' экспериментальные данные
    lexp = Range("b1").Offset(i, 0)
    lmod = L0 + k * t ' модельное значение
    L0 = L0 + c * (lexp - lmod) ' корректировка коэффициента
Next i

Range("e5") = L0
Range("f5") = k

For i = 1 To 6 ' обновить таблицу с модельными данными
    t = Range("a1").Offset(i, 0)
    lmod = L0 + k * t
    Range("c1").Offset(i, 0) = ymod
Next i

For i = 1 To 6
    t = Range("a1").Offset(i, 0)
    lexp = Range("b1").Offset(i, 0)
    ymod = L0 + k * t
    k = k + c * (lexp - lmod) ' корректировка коэффициента k
Next i

Range("e5") = L0
Range("f5") = k

For i = 1 To 6 ' обновить таблицу с модельными данными
    t = Range("a1").Offset(i, 0)
    lmod = L0 + k * t
    Range("c1").Offset(i, 0) = lmod
Next i

```

End Sub

### ***Содержание отчета***

- 1 Название и цель работы.
- 2 Исходные данные.
- 3 VBA-макрос.
- 4 Рабочий лист *MS Excel* с результатами расчетов.
- 5 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какова структура искусственного нейрона?
- 2 Чем отличаются пороговая и сигмоидальная функция активации?
- 3 Запишите выражение для коррекции весовых коэффициентов нейронной сети.
- 4 Какую структуру имеют сети архитектуры MLP?
- 5 В чем сущность обучения нейронных сетей?

## **8 Лабораторная работа № 8. Методы обучения сетей**

***Цель работы:*** приобретение навыков обучения нейронных сетей на основе алгоритма обратного распространения ошибки.

### ***Задание***

По вариантам, выданным преподавателем, решить задачу обучения искусственной нейронной сети, используя алгоритм обратного распространения ошибки. В качестве функции активации принять сигмоиду с единичным коэффициентом крутизны. Скорость обучения равна 1. При решении задачи выполнить две итерации.

### ***Порядок выполнения работы***

1 На первой итерации определить выход искусственной нейронной сети путем распространения входного примера по сети.

Определить среднеквадратичную ошибку нейронной сети. Затем провести корректировку коэффициентов синаптических связей в направлении, обратном прямому распространению входных сигналов.

2 На второй итерации вновь рассчитать выход искусственной нейронной сети путем прямого распространения входного примера по сети и определить среднеквадратичную ошибку.

3 Сделать вывод о качестве обучения искусственной нейронной сети по уменьшению ошибки.

### ***Содержание отчета***

- 1 Название и цель работы.
- 2 Исходные данные.
- 3 Ход решения задачи обучения нейронной сети методом обратного распространения ошибки.
- 4 Выполненные две итерации обучения нейронной сети. По каждой итерации представить результаты распространения входного примера по сети.
- 5 Рассчитанные среднеквадратичные ошибки.
- 6 Результаты корректировки коэффициентов синаптических связей.
- 7 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 В чем сущность обучения нейронных сетей?
- 2 Какие существуют парадигмы обучения нейронных сетей?
- 3 Что представляет собой модель искусственного нейрона?
- 4 В чем заключается идея обратного распространения ошибки?
- 5 Чем определяется скорость обучения в алгоритме обратного распространения ошибки?

### **Список литературы**

- 1 **Андрейчиков, А. В.** Интеллектуальные информационные системы и методы искусственного интеллекта : учебник / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – Москва : Инфра-М, 2023. – 530 с.
- 2 **Пенькова, Т. Г.** Модели и методы искусственного интеллекта : учебное пособие / Т. Г. Пенькова, Ю. В. Вайнштейн. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2019. – 116 с.
- 3 **Пятаева, А. В.** Интеллектуальные системы и технологии : учебное пособие / А. В. Пятаева, К. В. Раевич. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. – 144 с.
- 4 **Сидоркина, И. Г.** Системы искусственного интеллекта : учебное пособие / И. Г. Сидоркина. – Москва : Кнорус, 2017. – 246 с.
- 5 **Перфильев, Д. А.** Интеллектуальные системы поддержки принятия решений : учебное пособие / Д. А. Перфильев, К. В. Раевич, А. В. Пятаева. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. – 136 с.