



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Навчально-науковий інститут автоматичної, кібернетики та  
обчислювальної техніки

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-  
інтегрованих технологій

**04-03-216**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт із навчальної дисципліни  
«Інтелектуальні системи управління» (Частина 2)

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня  
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-  
інтегровані технології»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною  
комісією зі спеціальності 151  
«Автоматизація та комп'ютерно-  
інтегровані технології»  
Протокол № 9 від 24 червня 2019 р.

Рівне – 2019



Методичні вказівки до лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Інтелектуальні системи управління» (Частина 2) для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» НУВГП денної та заочної форми навчання / Стець С. Є. – Рівне : НУВГП, 2019. – 18 с.

Укладач: Стець С. Є., кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.



Відповідальний за випуск: Древецький В. В., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

© Стець С. Є., 2019

© Національний університет  
водного господарства та  
природокористування, 2019



### Лабораторна робота № 3

## Перцептрони і одношарові перцептронні нейронні мережі

### Мета роботи

Вивчити модель нейрона перцептрона і архітектуру перцептронної одношарової нейронної мережі. Створити і дослідити модель перцептронних нейронних мереж в системі MATLAB.

### Теоретичні відомості

Перцептроном називається найпростіша нейронна мережа, ваги і зміщення якої можуть бути налаштовані таким чином, щоб вирішити задачу класифікації вхідних векторів. Задачі класифікації дозволяють розв'язувати складні проблеми аналізу комутаційних з'єднань, розпізнавання образів та інших задач класифікації з високою швидкістю і гарантією правильного результату.

#### *Архітектура перцептрона.*

*Нейрон перцептрона.* Нейрон, що використовується в моделі перцептрона, має ступінчасту функцію активації *hardlim* з жорсткими обмеженнями (рис. 3.1).

Кожне значення елемента вектора входу перцептрона помножене на відповідну вагу  $w_{1j}$ , і сума отриманих зважених елементів є входом функції активації.

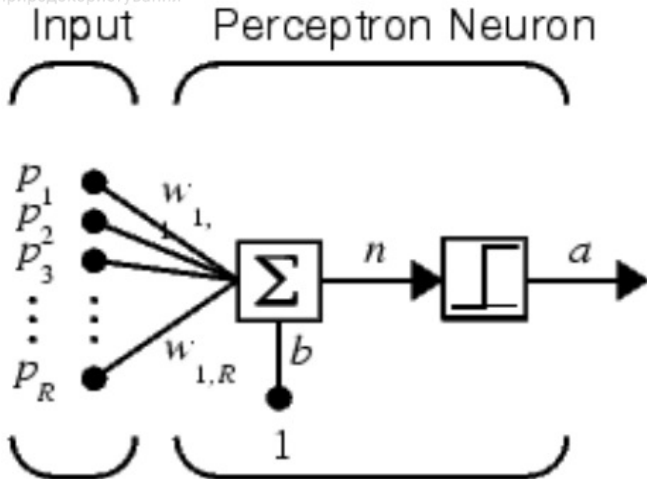
Якщо вхід функції активації  $n \geq 0$ , то нейрон перцептрона повертає 1, якщо  $n < 0$ , то 0.

Функція активації з жорсткими обмеженнями надає перцептрону здатність класифікувати вектори входу, розділяючи простір входів на дві області, як це показано на рис. 3.2, для перцептрона з двома входами і зміщенням.

Простір входів ділиться на дві області лінією  $L$ , яка для двовимірного випадку задається рівнянням

$$W_p^T + b = 0 \quad (1)$$

Ця лінія перпендикулярна до вектора ваг  $w$  і зміщена на величину  $b$ .



$$a = \text{hardlim}(Wp + b)$$

Рис.3.1. Модель персептрона

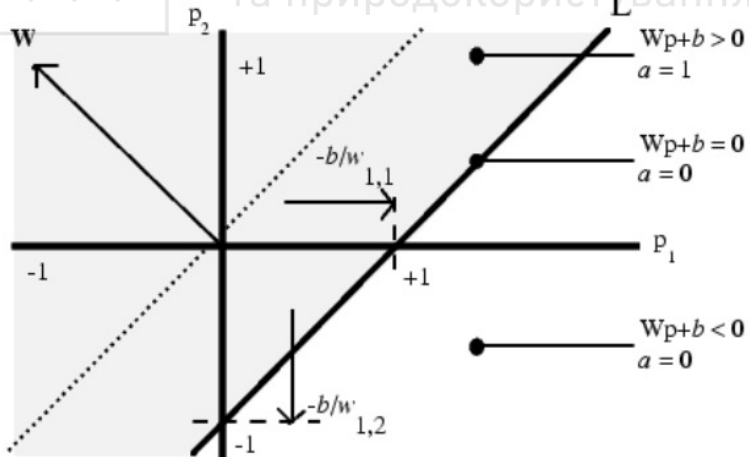


Рис. 3.2. Графік функції активації



Вектори входу вище лінії  $L$  відповідають позитивному потенціалу нейрона, і, відповідно, вихід персеプトрона для цих векторів буде дорівнювати 1; вектори входу нижче лінії  $L$  відповідають виходу персеプトрона, рівному 0.

При зміні значень зсуву і ваг межа лінії  $L$  змінює своє положення.

Персептон без зміщення завжди формує роздільну лінію, що проходить через початок координат; додавання зсуву формує лінію, яка не проходить через початок координат, як це показано на рис. 3.2.

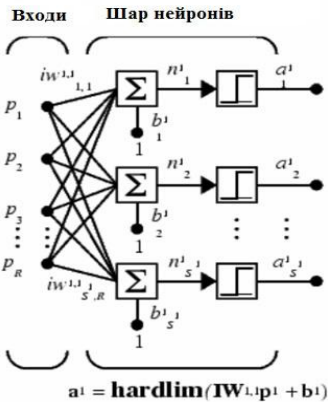
У разі, коли розмірність вектора входу перевищує 2, тобто вхідний вектор  $P$  має більше ніж 2 елементи, роздільною границею служитиме гіперплощина.

### Архітектура мережі.

Персептон складається з єдиного шару, що включає  $S$  нейронів, як це показано на рис. 3.3,  $a$  і  $b$  у вигляді розгорнутої і укрупненої структурних схем відповідно.

Ваги  $w_{ij}$  - це коефіцієнти передачі від  $j$ -го входу до  $i$ -го нейрона.

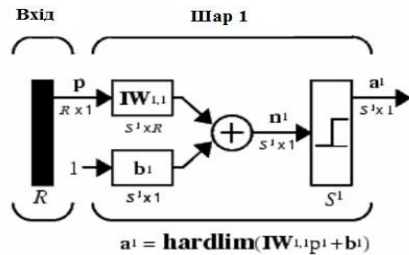
Рівняння одношарового персептона має вигляд

$$a = f(Wp + b).$$


$a$

$b$

Рис. 3.3. Структурні схеми персептона





*Модель перцептрона.* Для формування моделі одношарового перцептрона в системі MATLAB призначена функція `newp`.

**net = newp(PR, S)** з наступними вхідними аргументами:

PR - масив мінімальних і максимальних значень для R елементів входу розміру Rx2;

S - число нейронів в шарі.

Наприклад, функція **net = newp([0 2], 1)**; створює перцептрон з одноелементним входом і одним нейроном; діапазон значень входу - [0 2].

В якості функції активації перцептрона за замовчуванням використовується функція `hardlim`.

*Моделювання перцептрона.* Розглянемо одношаровий перцептрон з одним двоелементним вектором входу, значення елементів якого змінюються в діапазоні від -2 до +2 ( $p_1 = [-2 \ 2]$ ,  $p_2 = [-2 \ 2]$ , число нейронів в мережі S = 1):

```
clear, net = newp([-2 2; -2 2], 1); % Створення перцептрона net.
```

За замовчуванням ваги і зміщення дорівнюють нулю, і для того, щоб встановити бажані значення, необхідно застосувати такі оператори:

```
net.IW {1,1} = [-1 1]; % Ваги  $w_{11} = -1$ ;  $w_{12} = 1$ 
```

```
net.b {1} = [1]; % Зміщення b = 1
```

Запишемо рівняння (1) в розгорнутому вигляді для даної мережі:

$$\begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{12} \end{bmatrix} [p_1 \ p_2] + b_1 = 0,$$

$$\begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} [p_1 \ p_2] + 1 = 0.$$

В цьому випадку роздільна лінія має вигляд L:  $-p_1 + p_2 + 1 = 0$  і відповідає лінії L на рис. 3.2.

Визначимо реакцію мережі на вхідні вектори  $p_1$  і  $p_2$ , розташовані по різні сторони від роздільної лінії:

```
p1 = [1; 1];
```

```
a1 = sim(net, p1) % Моделювання мережі net з вхідним вектором p1
```



```
a1 = 1
```

```
p2 = [1; -1];
```

```
a2 = sim (net, p2)% Моделювання мережі net з вхідним вектором p2
```

```
a2 = 0
```

Персептрон правильно класифікував ці два вектори. Зауважимо, що можна було б ввести послідовність двох векторів у вигляді масиву комірок і отримати результат також у вигляді масиву комірок

```
p3 = {[1; 1] [1; -1]}
```

```
a3 = sim (net, p3)% Моделювання мережі net при вхідному сигналі p3
```

```
p3 = [2x1 double] [2x1 double]
```

```
a3 = [1] [0]
```

*Ініціалізація параметрів.* Для одношарового персептрона в якості параметрів нейронної мережі в загальному випадку виступають ваги входів і зсуву. Припустимо, що створюється персептрон з двоелементним вектором входу і одним нейроном

```
clear, net = newp ([- 2 2;- 2 2], 1);
```

Запитаємо характеристики ваг входу

```
net.inputweights {1, 1}
```

```
ans =
```

```
delays: 0
```

```
initFcn: 'initzero'
```

```
learn: 1
```

```
learnFcn: 'learnp'
```

```
learnParam: []
```

```
size: [1 2]
```

```
userdata: [1x1 struct]
```

```
weightFcn: 'dotprod'
```

З цього списку слідує, що в якості функції ініціалізації за замовчуванням використовується функція `initzero`, яка присвоює вагам входу нульові значення. В цьому можна переконатися, витягнувши значення елементів матриці ваг і зсуву:

```
wts = net.IW {1,1}, bias = net.b {1}
```

```
wts = 0 0
```

```
bias = 0
```



Тепер встановимо нові значення елементів матриці ваг і

зсуву:

```
net.IW{1,1} = [3, 4]; net.b{1} = 5;
```

```
wts = net.IW{1,1}, bias = net.b{1}
```

```
wts = 3 4
```

```
bias = 5
```

Для того щоб повернутися до попередніх налаштувань параметрів перцептрона, призначена функція `init`:

```
net = init(net); wts = net.IW{1,1}, bias = net.b{1}
```

```
wts = 0 0
```

```
bias = 0
```

Можна змінити спосіб, яким ініціалізується перцептрон з допомогою функції `init`. Для цього достатньо змінити тип функцій ініціалізації, які застосовуються для встановлення початкових значень ваг входів і зсувів. Наприклад, скористаємося функцією ініціалізації `rands`, яка встановлює випадкові значення параметрів перцептрона:

```
% Задати функції ініціалізації ваг і зсувів
```

```
net.inputweights {1,1} .initFcn = 'rands';
```

```
net.biases {1} .initFcn = 'rands';
```

```
% Виконати ініціалізацію раніше створеної мережі з новими функціями
```

```
net = init (net);
```

```
wts = net.IW {1,1}, bias = net.b {1}
```

```
wts = -0.1886 0.8709
```

```
bias = -0.6475
```

Видно, що ваги і зміщення обрані випадково.





### Порядок виконання роботи

1. Для заданого викладачем варіанта (табл. 3.1.) розробити структурну схему перцептронної нейронної мережі.
2. Розробити алгоритм створення і моделювання перцептронної нейронної мережі.
3. Реалізувати розроблений алгоритм в системі MATLAB.
4. Визначити параметри створеної нейронної мережі (ваги і зміщення) і перевірити правильність роботи мережі для послідовності вхідних векторів (не менше 5).
5. Побудувати графік, аналогічний представленому на рис. 2.1, для своїх вихідних даних.
6. Переустановити значення матриць ваг і зміщень за допомогою розглянутих функцій ініціалізації.
7. Роздрукувати текст програми.

Табл. 3.1.

Номер варіанта	Кількість входів	Діапазон значень виходів	Кількість нейронів в шарі
1	2	-9...+9	3
2	2	-7...+7	2
3	2	-5...+5	3
4	2	-3...+3	2
5	2	-6...+6	3
6	2	-3...+3	2
7	2	-1...+1	3
8	2	-4...+4	2
9	2	-2...+2	3
10	2	-8...+8	2

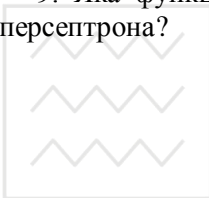
За результатами виконання лабораторної роботи скласти звіт, який повинен містити:

- Мету лабораторної роботи;
- Структурну схему нейронної мережі;
- Алгоритм, текст програми і графік;
- Висновки.



### Контрольні питання

1. Що називають персептроном?
2. Яку ступінчасту функцію активації має нейрон, що використовується в моделі персептрона?
3. Що є входом функції активації нейрона персептрона?
4. Що надає персептрону функція активації з жорсткими обмеженнями?
5. Чим є роздільна границя персептрона, коли розмірність вектора входу перевищує 2?
6. Запишіть рівняння одношарового персептрона.
7. Яка функція призначена для формування моделі одношарового персептрона в системі MATLAB?
8. Яка функція призначена для повернення до попередніх налаштувань параметрів персептрона?
9. Яка функція встановлює випадкові значення параметрів персептрона?





## Лабораторна робота №4

### Модель нейрона. Графічна візуалізація розрахунків в системі MATLAB

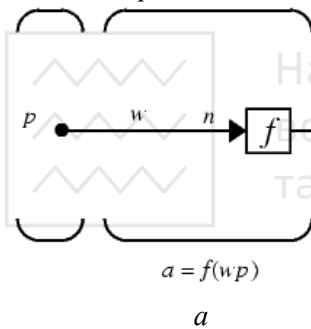
#### Мета роботи

Вивчити структурні схеми моделі нейрона і засобів системи MATLAB, які використовуються для побудови графіків функцій активації нейрона.

#### Теоретичні відомості

*Простий нейрон.* Елементарною частинкою нейронної мережі є нейрон. Структура нейрона з одним скалярним входом показана на рис. 4.1, а.

Вхід Нейрон без зміщення



Вхід Нейрон зі зміщенням

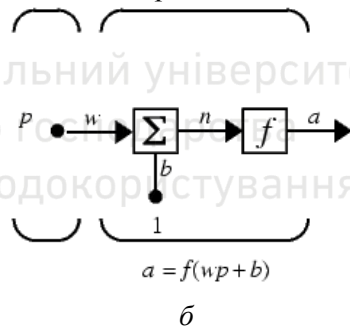


Рис. 4.1. Структура нейрона з одним скалярним входом

Скалярний вхідний сигнал  $p$  множиться на скалярний *ваговий коефіцієнт*  $w$ , і результуючий зважений вхід  $w \cdot p$  є аргументом *функції активації нейрона*  $f$ , яка утворює скалярний вихід  $a$ .

Нейрон, показаний на рис. 4.1, б, доповнений скалярним зміщенням  $b$ . Зміщення додається зі зваженим входом  $w \cdot p$  і призводить до зміщення аргументу функції  $f$  на величину  $b$ . Дію зміщення можна звести до схеми зважування, якщо уявити, що нейрон має другий вхідний сигнал із значенням, рівним 1 ( $b \cdot 1$ ). Вхід  $n$  функції активації нейрона і раніше залишається скалярним і рівним сумі зваженого входу і зміщення  $b$ . Ця сума  $(w \cdot p + b \cdot 1)$  являється аргументом функції активації  $f$ , а



виходом функції активації є сигнал  $a$ . Константи  $w$  і  $b$  є скалярними параметрами нейрона. Основний принцип роботи нейронної мережі полягає в налаштуванні параметрів нейрона таким чином, щоб поведінка мережі відповідала деякій бажаній поведінці. Регулюючи ваги і параметри зміщення, можна навчити мережу виконувати конкретну роботу; можливо також, що мережа сама буде коригувати свої параметри, щоб досягти необхідного результату.

Рівняння нейрона зі зміщенням має вигляд:

$$a = f(w \cdot p + b \cdot 1). \quad (2)$$

Як вже зазначалося, зміщення  $b$  - налаштовує скалярний параметр нейрона, який не є входом. В цьому випадку  $b$  - вага, а константа 1, яка управляє зміщенням, розглядається як вхід і може бути врахована у вигляді лінійної комбінації векторів входу

$$n = [w \quad b] \begin{bmatrix} p \\ 1 \end{bmatrix} = w * p + b * 1.$$

*Нейрон з векторним входом.*

Нейрон з одним вектором входу  $p$  з  $R$  елементами  $p_1, p_2, \dots, p_R$  показаний на рис. 4.2.

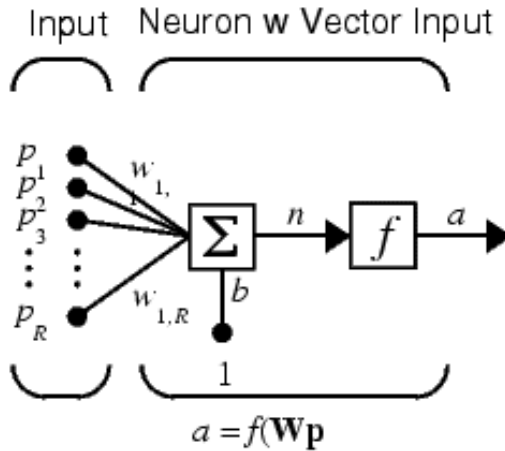


Рис. 4.2. Схема нейрона



Тут кожен елемент входу множиться на ваги  $w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1R}$  відповідно, і зважені значення передаються на суматор. Їх сума дорівнює скалярному добутку вектора-рядка  $W$  на вектор-стовпець входу  $p$ .

Нейрон має зміщення  $b$ , яке підсумовується зі зваженою сумою входів. результуюча сума

$$n = w_{11}p_1 + w_{12}p_2 + \dots + w_{1R}p_R + b \cdot 1$$

або

$$n = w_{11}p_1 + w_{12}p_2 + \dots + w_{1R}p_R + b \quad (3)$$

і служить аргументом функції активації  $f$ . В нотації мови MATLAB це вираз записується так:

$$n = W \cdot p + b.$$

Структура нейрона, показана вище, є розгорнутою. При розгляді мереж із значною частиною нейронів, зазвичай використовується укрупнена структурна схема нейрона (рис. 4.3).

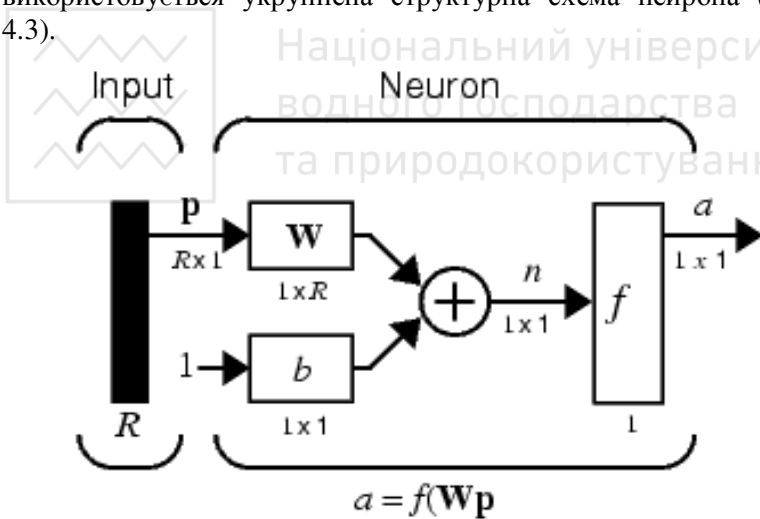


Рис. 4.3. Укрупнена структурна схема нейрона

Вхід нейрона зображується у вигляді темної вертикальної риски, під якою вказується кількість елементів входу  $R$ . Розмір вектора входу  $p$  вказується нижче символу  $p$  і дорівнює  $R \times 1$ .



Вектор входу множиться на вектор-рядок  $W$  довжини  $R$ . Як розглядалося вище, константа  $1$  є входом, який множиться на скалярне зміщення  $b$ .

Входом  $n$  функції активації нейрона служить сума зміщення  $b$  і добуток  $W \cdot p$ . Ця сума перетвориться функцією активації  $f$ , на виході якої отримуємо вихід нейрона  $a$ , який в даному випадку є скалярною величиною.

Структурна схема, наведена на рис. 4.3, називається шаром мережі. Шар характеризується матрицею ваг  $W$ , зміщенням  $b$ , операціями множення  $W \cdot p$ , підсумовуванням і функцією активації  $f$ . Вектор входів  $p$  зазвичай не включається в характеристики шару. Щоразу, коли використовується скорочене позначення мережі, розмірність матриць вказується під іменами векторно-матричних змінних (див. рис. 4.3). Ця система позначень пояснює будову мережі і пов'язану з нею матричну математику.

**Функції активації.** Функції активації (передаточні функції) нейрона можуть мати різний вигляд. Функція активації  $f$ , як правило, належить до класу сигмоїдальних функцій, які мають дві горизонтальні асимптоти і одну точку перегину, з аргументом функції  $n$  (входом) і значенням функції  $a$  (виходом).

Розглянемо три найбільш поширені форми функції активації.

*Одинична функція активації з жорстким обмеженням hardlim.*

Ця функція описується співвідношенням  $a = \text{hardlim}(n) = 1$  ( $n$ ) і показана на рис. 4.4.

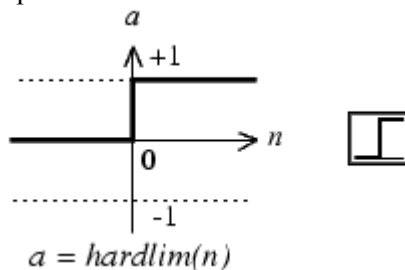


Рис. 4.4. Одинична функція активації

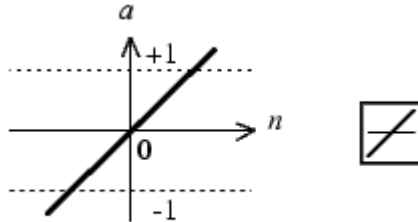
Вона дорівнює 0, якщо  $n < 0$ , і дорівнює 1, якщо  $n \geq 0$ .



Щоб побудувати графік цієї функції в діапазоні значень входу від -5 до +5, необхідно ввести наступні оператори мови MATLAB в командному вікні:

```
n = -5:0.1:5;  
plot(n,hardlim(n),'b+');  
Лінійна функція активації purelin.
```

Ця функція описується співвідношенням  $a = \text{purelin}(n) = n$  і показана на рис. 4.5.



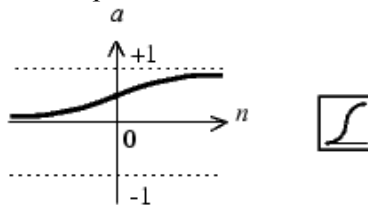
$$a = \text{purelin}(n)$$

Рис. 4.5. Лінійна функція активації

Щоб побудувати графік цієї функції в діапазоні значень входу від -5 до +5, необхідно ввести наступні оператори мови MATLAB в командному вікні:

```
n=-5:0.1:5;  
plot(n,purelin(n),'b+');  
Логістична функція активації logsig
```

Ця функція описується співвідношенням  $a = \text{logsig}(n) = 1 / (1 + \exp(-n))$  і показана на рис. 4.6.



$$a = \text{logsig}(n)$$

Рис. 4.6. Логістична функція активації



Дана функція належить до класу сигмоїдальних функцій, і її аргумент може приймати будь-яке значення в діапазоні від  $-\infty$  до  $+\infty$ , а вихід змінюється в діапазоні від 0 до 1. Завдяки властивості диференціювання (немає точок розриву) ця функція часто використовується в мережах з навчанням на основі методу зворотного поширення помилки.

Щоб побудувати графік цієї функції в діапазоні значень входу від -5 до +5, необхідно ввести наступні оператори мови MATLAB в командному вікні:

```
n=-5:0.1:5;  
plot(n,logsig(n),'b+');
```

На збільшеній структурній схемі для позначення типу функції активації застосовують спеціальні графічні символи; деякі з них наведені на рис. 4.7, де *a* - ступінчаста, *b* - лінійна, *v* - логістична.

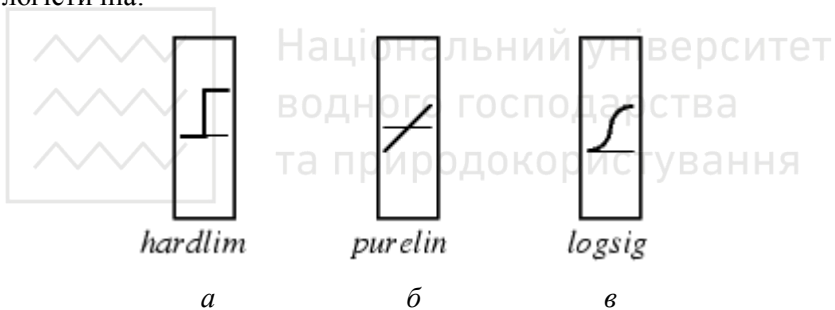


Рис. 4.7. Графічні символи позначення функції активації

### Побудова графіків функцій однієї змінної в системі MATLAB.

Для побудови графіка функції однієї змінної в системі MATLAB використовується оператор `plot`. При цьому графіки будуються в окремих масштабованих і переміщуваних вікнах. Наприклад, для побудови графіка функції  $\sin x$  достатньо спочатку задати діапазон і крок зміни аргументу, а потім використовувати оператор `plot` (рис. 4.8):

```
x=-5:0.1:5;  
plot(x,sin(x))
```



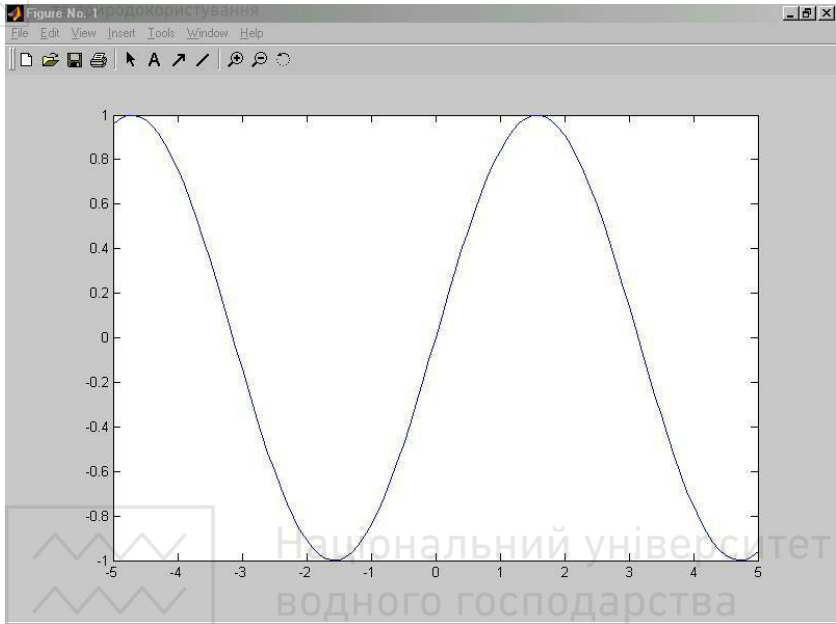


Рис. 4.8. Графік функції

Оператор `plot` є потужним інструментом для побудови графіків функцій однієї змінної. Він дозволяє будувати графіки відразу декількох функцій і має різні форми, синтаксис яких можна дізнатися, скориставшись командою `help plot`.

### Порядок виконання роботи

1. Побудувати графіки функцій активації в заданих діапазонах значень відповідно до варіанта (табл. 4.1), використовуючи функцію `plot`.
2. Використовуючи функцію `plot`, побудувати графіки всіх заданих функцій, згідно з варіантом, в одному графічному вікні.



Табл. 4.1.

номер варіанта	діапазони значень входу	ім'я функції
1	$-3 \dots +3$	hardlim
2	$-1 \dots +1$	hardlins
3	$-4 \dots +4$	purelin
4	$-2 \dots +2$	poslin
5	$-8 \dots +8$	satlin
6	$-9 \dots +9$	satlins
7	$-7 \dots +7$	radbas
8	$-5 \dots +5$	tribas
9	$-3 \dots +3$	logsig
10	$-6 \dots +6$	Tansig

За результатами виконання лабораторної роботи скласти звіт, який повинен містити:

- Мету лабораторної роботи;
- Графіки функцій;
- Висновки.

### Контрольні питання

1. Що є елементарною частинкою нейронної мережі?
2. Який вигляд має структура нейрона з одним скалярним входом?
3. Наведіть рівняння нейрона зі зміщенням.
4. В чому особливість нейрона з векторним входом?
5. Назвіть найбільш поширені форми функції активації нейрона.
6. Що називають шаром мережі?
7. Яким співвідношенням описується лінійна функція активації purelin?
8. Який оператор використовується для побудови графіка функції однієї змінної в системі MATLAB?