

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

**магістр**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Розробка та дослідження автоматизованої системи управління температурою в камері сушіння деревини на основі нейромережових технологій**

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи КАмз-61

напряму підготовки (спеціальності)

**151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

**Кучірка Є. В.**

(прізвище та ініціали)

Керівник

**Трембач Р.Б.**

(прізвище та ініціали)

Рецензент

**Карташов В.В.**

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

**Козбур І.Р.**

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019

Міністерство освіти і науки України  
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Напрямок підготовки: \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри проф. Марущак П.О.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

**Кучірці Єлизаветі Вікторівні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка та дослідження автоматизованої системи управління температурою в камері сушіння деревини на основі нейромережевих технологій

Керівник проекту (роботи) Трембач Ростислав Богданович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «10» ЖОВТНЯ 2019 року № 4/7-898

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 08.12.2019р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технологічна документація, технологічні креслення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Науково – дослідна частина

3. Технологічна частина

4. Конструкторська частина

5. Спеціальна частина

6. Обґрунтування економічної ефективності

7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 8. Екологія

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)



## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Рівняння кінетики процесу сушіння деревини	8
1.2 Аналіз архітектур нейромереж	9
1.3. Методика вимірювання вологості деревини	15
1.4 Принцип визначення вологості	17
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	21
2.1 Структурний синтез швидких нейромереж	21
2.2 Структурний аналіз алгоритмів ШПФ	22
2.3 Алгоритм структурного синтезу ШНМ	28
2.4 Синтез структурної моделі ШНМ	33
2.5 Топологія нейронної мережі	35
2.6 Регулярні топології	38
2.7 Навчання нейроконтролера	43
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	51
3.1 Технологія автоматичного керування	51
3.2 Використання мереж в управлінні	55
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	61
4.1 Дослідження нейроконтролера	61
4.2 Дослідження системи в SIMULINK	62
4.3 Дослідження системи в SIMULINK на збурення	71
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	74
5.1 Вибір системи керування лісосушильними камерами	74
5.2 Вибір елементів системи керування	79
5.3 Вимірювач вологості деревини	81
6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	82
6.1 Економічна доцільність розробки системи та її	82

впровадження	
6.2 Визначення економічного ефекту	83
6.3 Розрахунок лімітної ціни	83
6.4 Визначення економічного ефекту в умовах експлуатації спроектованої системи	86
<b>7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	<b>91</b>
7.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів	91
7.2 Забезпечення нормальних умов праці	93
7.3 Розрахунок освітленості виробничого приміщення	95
7.4 Електромагнітний імпульс ядерного вибуху і захист від нього радіоелектронних засобів	99
7.5 Сучасний стан знань в області ЕМІ	101
7.6 Використання імітаторів ЕМІ для набору експериментальних даних	104
7.7 Можливі шляхи вирішення задачі захисту від ЕМІ	105
7.8 Практична оцінка стійкості промислового цеху до впливу ударної хвилі ядерного вибуху	108
<b>8 ЕКОЛОГІЯ</b>	<b>112</b>
8.1 Загальні відомості про забруднення атмосфери	112
8.2 Забруднення виробничого та навколишнього середовища відходами виробництва	113
8.3 Вимоги до моніторів (ВДТ) і ПЕОМ	115
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>122</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	<b>123</b>
Додаток А. Програма функціонального блоку FB70	126

## ВСТУП

Штучні нейронні мережі (ШНМ) будуються по принципах організації і функціонування їхніх біологічних аналогів. Вони здатні вирішувати широке коло задач: обчислення функції, розпізнавання образів, ідентифікації, прогнозування, оптимізації, керування складними об'єктами. Подальше підвищення продуктивності комп'ютерів у великій мірі зв'язують з ШНМ, зокрема, з нейрокомп'ютерами (НК), основу яких складає штучна нейронна мережа.

Глибоке вивчення ШНМ вимагає знання нейрофізіології, науки про пізнання, психології, фізики (статистичної механіки), теорії керування, теорії обчислень, проблем штучного інтелекту, статистики/математики, розпізнавання образів, комп'ютерного зору, рівнобіжних обчислень і апаратних засобів (цифрових і аналогових). З іншого боку, ШНМ також стимулюють ці дисципліни, забезпечуючи їх новими інструментами і уявленнями. Цей симбіоз життєво необхідний для дослідження нейронних мереж[1].

Нейронні мережі – це область знань, яка бурхливо розвивається на протязі останніх десяти років. Розвиток супроводжується великою кількістю друкованих інтернет-публікацій, які мають, в основному, науковий і рекламний характер. При цьому явно відчувається брак навчальної літератури не тільки російсько- та українсько-, але і англомовної

Підготовка даних для навчання мережі ще називається передпроцесорною підготовкою і звичайно включає: приведення даних до найкращого діапазону (масштабування), щоби прискорити навчання і уникнути тупикових ситуацій; уніфікацію випадкових даних шляхом приведення їх до нульового середнього і одиначної дисперсії (нормування); збільшення інформативності даних шляхом виключення послідовностей з найбільшими коефіцієнтами кореляції (факторний аналіз).

Створення мережі полягає у розробці і створенні комп'ютерної моделі, яка в подальшому може навчатися і потім використовуватись для моделювання.

Після того, як при створенні мережі визначені кількість шарів і кількість нейронів у кожному з них, необхідно знайти значення ваг і зміщень кожного з нейронів, тобто здійснити настроювання параметрів моделі. Це може бути досягнуто за допомогою процедури навчання мережі. Вона зводиться, як правило, до мінімізації помилки, яку мережа допускає при пред'явленні до неї всіх даних навчання.

Моделювання системи полягає в створення придатної для практичного використання моделі, в якій збережені архітектура мережі і знайдені в результаті навчання значення вагових коефіцієнтів і зміщень всіх нейронів. Моделювання можна провести двома шляхами: використання функції SIM (simulation – моделювання) дозволяє створити (і далі використовувати) модель у робочому вікні MATLAB; GENSIM (generate a SIMULINK block) використовується для моделювання за допомогою Simulink. Застосування пакета Simulink необхідне при моделюванні динамічних мереж, які містять лінії затримки; останні, як відомо, є аналогами блоків диференціювання в дискретних за часом системах.

Тепер можна провести тестування отриманої моделі шляхом пред'явлення до неї спеціального тестового набору даних. Дані тестування можуть бути отримані таким же шляхом, що і дані навчання. Але для незалежного тестування вони не повинні використовуватись для навчання. Оскільки результати тестування, як правило, мають статистичний характер, для їх числової обробки доцільно застосувати регресійний аналіз за допомогою функції POSTREG.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Рівняння кінетики процесу сушіння деревини

Із аналітичного огляду основних сучасних способів управління процесом сушіння в ЛКПД можна зробити однозначний висновок, що тенденція в створенні таких систем заключається в використанні математичних моделей законів тепловологообміну деревини і розвитку її внутрішніх напружень, що дає змогу шляхом імітаційного моделювання підбирати раціональні режими сушіння для конкретних сортиментів і порід деревини.

Кінетика процесу сушіння характеризується зміною на протязі часу середніх значень вологовмісту і температури деревини і в першу чергу визначається закономірностями взаємодії деревини з навколишнім середовищем, тобто зовнішнім тепло- і масообміном.

Криві сушіння деревини є графічною інтерпретацією рішень диференціальних рівнянь кінетики, дають наочне представлення про зменшення на протязі часу сушіння поточного вологовмісту в деревині.

Як відомо, сучасні раціональні режими сушіння деревини координовані саме в залежності від зміни в ній вологовмісту. Тому для розробки алгоритму управління процесом сушіння в залежності від поточного вологовмісту необхідно мати в наявності надійні адекватні математичні моделі зміни вологовмісту на протязі сушіння. Основа таких моделей суть рівняння кінетики сушіння деревини які одержані як експериментальним, так і теоретичним шляхом.

При рівномірному розподілі вологості в деревині, постійних в процесі сушіння коефіцієнтах вологопровідності  $D$ , вологовіддачі  $\beta$  і параметрах



середовища на основі диференціального рівняння тепло- і вологопереносу для безмежної пластини Ликовим одержане рівняння швидкості сушіння:

$$\frac{dW}{dt} = -[D(W - W_p)]/[R^2(\frac{4}{\rho^2} + \frac{1}{HR})], \quad (1.1)$$

$W$  – середня поточна вологість деревини, %;

$\tau$  – поточний час, год;

$W_p$  – рівноважна вологість деревини, %;

$D$  – коефіцієнт вологопровідності, м<sup>2</sup>/год;

$R$  – половина товщини матеріалу, м;

$H$  – відношення коефіцієнта вологовіддачі до коефіцієнта вологопровідності, 1/м;

$HR$  – вологообмінний критерій.

В результаті аналізу практичних рекомендацій, математичних залежностей і формул для визначення тривалості сушіння з метою їх використання в алгоритмах управління зроблені наступні загальні висновки:

- доцільно розглядати методи розрахунку відносно основних груп сушильних камер і в даному випадку – камер періодичної дії;
- необхідно виділяти методи розрахунку тривалості сушіння для постійного і падаючого періоду сушіння деревини навіть для товстих пиломатеріалів;
- слід окремо виділяти методи розрахунку для твердих листяних порід;
- рекомендовані методи розрахунку доцільно коректувати емпіричними коефіцієнтами сповільнення процесу сушіння в залежності від конкретних сушильних камер і конкретних умов сушіння.

Для різних температурних режимів сушіння рекомендуються конкретні розраховані формули для визначення тривалості часу сушіння. Слід зазначити, що формула для визначення тривалості часу сушіння одержується шляхом інтегрування рівняння (1.1) в межах від  $W_p$  до  $W_k$ , тобто

$$\frac{dW}{dt} = -b(W - W_p), \quad (1.2)$$

$$dt = -\frac{1}{b} dW / (W - W_p), \quad (1.3)$$

$$\int dt = -\frac{1}{b} \int_{W_n}^{W_k} \frac{dW}{W - W_p}, \quad (1.4)$$

$$t = \frac{1}{b} \ln \frac{W_n - W_p}{W_k - W_p}, \quad (1.5)$$

де  $W_n$ ,  $W_k$  – початкова і кінцева вологості деревини, %;

$b$  – узагальнений коефіцієнт сушіння [6,9].

## 1.2 Аналіз архітектур нейромереж

У загальному випадку поняття “штучна нейронна мережа” охоплює ансамблі нейронів будь-якої структури, однак практичне застосування знайшли тільки деякі з них. Це зумовлено тим, що архітектура НМ безпосередньо зв'язана з методом її навчання. Навіть різні етапи розвитку НМ визначалися появою нових архітектур мереж і спеціально розроблених для них методів навчання [1, 2].

На сьогоднішній день можна виділити чотири основні різновиди архітектури НМ [1].

### 1.2.1 Одношарові прямонаправлені мережі

Шаровою називається НМ, що складається з груп нейронів, розділених по шарах. НМ, що містить  $k$  шарів, називається  $k$ -шаровою. Якщо сигнали в мережі поширюються тільки по напрямку з початку в кінець, то така НМ називається прямонаправлена. На рисунку 1.1 зображена одношарова прямонаправлена НМ.

Вона містить у собі шар вхідних нейронів і шар вихідних. Нейрони вхідного шару просто ретранслюють сигнали на вихідний шар, не перетворюючи їх. У вихідному шарі відбувається перетворення сигналів і формування реакції мережі. Необхідно відзначити, що нейрони НМ також іноді називаються вузлами чи обчислювальними модулями. Кількість нейронів в одному шарі визначає розмір шару.

На відміну від прийнятої методики позначення, такі НМ називаються одношаровими, а не двошаровими. Цим підкреслюється, що обчислення здійснюється лише одним шаром мережі.

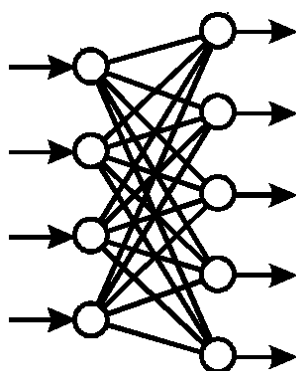


Рисунок 1.1 – Прямонаправлена мережа з одним шаром нейронів

### 1.2.2 Багатшарові прямонаправлені мережі

Вони характеризуються наявністю одного чи декількох схованих шарів, що здійснюють перетворення інформації. Нейрони схованого шару називаються схованими нейронами чи схованими вузлами. Використання схованих шарів дозволяє НМ здійснювати нелінійні перетворення вхід-вихід будь-якої складності чи витягати з вхідних даних статистичні показники високих порядків. Ці унікальні властивості багатшарових мереж особливо виявляються при високій розмірності простору вхідних сигналів.

На рисунку 1.2 представлена схема тришарової прямонаправленої НМ з одним схованим шаром. Для опису такої мережі використовується запис NN3-5-2. Тут 3 — розмір вхідного шару мережі, 5 — схованого, і 2 — вихідного. У загальному випадку прямонаправлена НМ із  $g$  вхідними нейронами,  $q$

вихідними нейронами і  $q$  схованими шарами розміру  $h_i$  позначається  $NNg-h_1h_2-...-h_n-q$ .

Нейрони вхідного шару в таких мережах просто ретранслюють вхідні сигнали на перший схований шар, не перетворюючи їх. У схованих нейронах послідовно, шар за шаром, відбувається нелінійне перетворення сигналів. Сигнали з останнього схованого шару надходять на нейрони вихідного шару, що формують реакцію мережі.

Формально, не існує обмежень на типи активаційних функцій нейронів різних шарів НМ чи навіть одного шару, однак звичайно всі сховані нейрони вибираються одного типу. Вихідний шар НМ може складатися з нейронів з тим же типом активаційної функції, що й у нейронів схованого шару, але найбільш розповсюдженим є модель прямонаправленої мережі з лінійними вихідними нейронами. НМ цього типу з сигмоїдною та гіперболічним тангенсом активаційними функціями нейронів схованого шару називаються багатошаровими перцептронами (БШП). БШП знайшли широке застосування при рішенні різних задач і є одними з головних об'єктів теоретичних досліджень.

Зображена на рисунку 1.2 НМ називається цілком зв'язаною прямонаправленою НМ, тому що кожен нейрон з одного шару зв'язаний із усіма нейронами наступного шару. Широке застосування також знаходять частково зв'язані прямонаправлені НМ, у яких нейрони одного шару зв'язані тільки з визначеною частиною нейронів наступного шару. Така архітектура дозволяє закласти в НМ апріорні знання про бажаний закон обробки сигналів у мережі.

Тришарові прямонаправлені НМ широко використовуються для рішення задач класифікації, розпізнавання образів, апроксимації і керування.

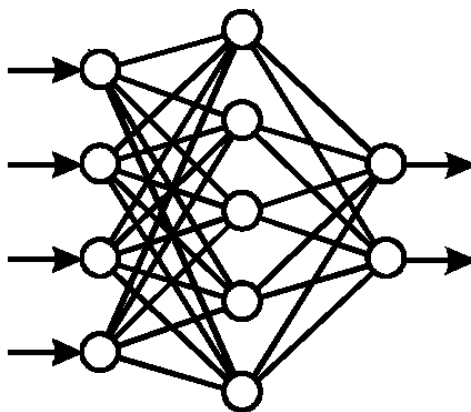


Рисунок 1.2 - Цілком зв'язана тришарова прямонаправлена мережа

### 1.2.3 Рекурентні мережі

Цей тип НМ відрізняється існуванням зворотних зв'язків і елементів тимчасової затримки сигналу.

Найбільш простим випадком рекурентної мережі є один шар нейронів, охоплений зворотними зв'язками. При цьому кожен нейрон одержує затримані вихідні сигнали всіх інших нейронів.

На рисунку 1.3 представлена рекурентна НМ, що містить схований шар нейронів. У цьому випадку кожен нейрон одержує, крім вхідних сигналів, ще і усі вихідні сигнали мережі.

Наявність зворотних зв'язків і елементів тимчасової затримки сигналів додає рекурентним мережам власні нелінійні динамічні властивості. Це також позначається на їхній здатності до навчання. Тренування рекурентних мереж вимагає обліку їх динамічних властивостей.

Одним з головних застосувань рекурентних НМ є нейроемулятори динамічних об'єктів, тобто їхні НМ моделі. Такі мережі можуть також використовуватися для рішення задач апроксимації тимчасових послідовностей, класифікації, розпізнавання образів і керування.

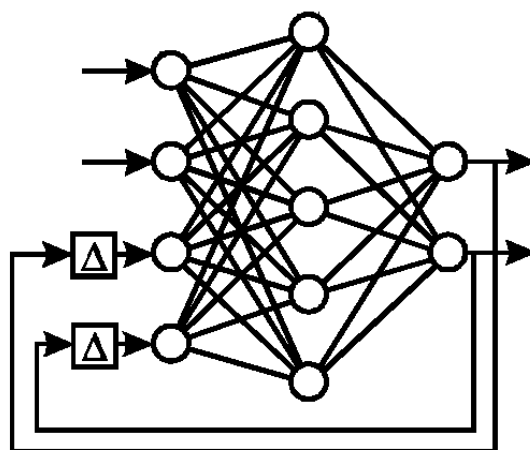


Рисунок 1.3 – Рекурентна мережа з одним схованим шаром

#### 1.2.4 Цілком зв'язані мережі

Характерною ознакою НМ цього типу є наявність зв'язків між усіма нейронами.

Найбільш відомим різновидом цілком зв'язаних мереж є мережі Хопфілда (рис. 1.4). У них кожен нейрон має двосторонні зв'язки з всіма іншими нейронами мережі. У загальному випадку мережа Хопфілда має симетричну кільцеву структуру, у ній не можна виділити сховані нейрони і єдиний напрямок поширення сигналів. Робота цілком зв'язаної НМ і обмін даними контролюється одним головним нейроном.

Мережа Хопфілда являє приклад цілком зв'язаної динамічної мережі, що ґрунтується на принципах самоорганізації, однак у ній не використовуються в явному виді елементи тимчасової затримки.

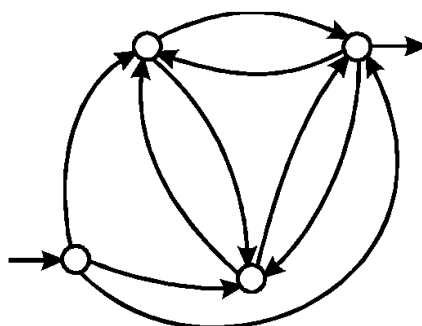


Рисунок 1.4 – Цілком зв'язана мережа Хопфілда

Іншим прикладом служать ґратчасті мережі (рис. 1.5). Вони являють собою масив нейронів, кожний з який зв'язаний із вхідними нейронами. Розмірність масиву нейронів визначає розмірність ґратчастої мережі. Така НМ є прямонаправленою, тому що в ній немає зворотних зв'язків, однак у ній не можна виділити сховані елементи чи шари.

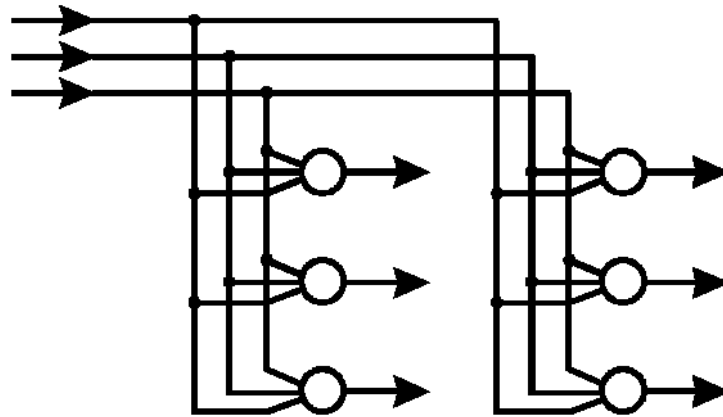


Рисунок 1.5 – Одномірна ґратчаста мережа з трьох нейронів

Цілковом зв'язані мережі знаходять особливо широке застосування при рішенні задач класифікації і розпізнавання образів.

### **1.3 Методика вимірювання вологості деревини**

Аналіз методів вимірювання вологості деревини дуже добре виконаний і висвітлений на сторінках багатьох науково-технічних видань, тому доцільно зупинитись тільки на основних моментах цього питання.

Існують прямі і непрямі методи вимірювання вологості деревини.

До прямих методів відноситься метод висушування, дистиляційний, екстракційний і хімічний.

До непрямих – всі інші, які вимагають попереднього калібрування із метою встановлення залежності між вологістю і вимірюваною фізичною величиною.

Метод висушування (термогравітичний) – це повітряно-теплове сушіння зразка матеріалу до рівноважної з навколишнім середовищем вологості. Для визначення вологості матеріалу потрібно точно знати стан навколишнього середовища, при якому визначається маса висушуваного матеріалу. Тривалість визначення вологості за цим методом – від кількох годин до доби. Незважаючи на високу точність, метод висушування зразка має недоліки. Припинення сушіння відповідає не повному видаленню вологи, рівновазі між тиском водяної пари у матеріалі і тиском водяної пари у повітрі.

Тривалість, трудомісткість, неекономічність і обмеженість кількості випробувань знижує точність визначення інтегральної вологості матеріалу. Під час контролю динаміки вологості при автоматизації процесів сушіння неможливо використовувати метод висушування зразка, тому, що за одним зразком не можна вести надійно контроль (технологія сушіння потребує визначення середньої вологості матеріалу у камері). Існує дистанційне визначення вологості за вимірюванням маси штабеля деревини у процесі сушіння. Масу штабеля визначають за допомогою різних вагових пристроїв, показуюча частина яких винесена на потрібну відстань від камери. Широке застосування дістав кондуктометричний метод визначення поточного значення вологості деревини, який базується на зміні опору деревини в залежності від її вологості. Для цього в штабелі розміщують давачі вологості (для підвищення точності необхідно розміщувати кілька датчиків). Необхідно зазначити, що за кордоном системи керування процесом сушіння деревини успішно вирішують задачу якісного сушіння деревини, використовуючи при цьому інформацію від кондуктометричних датчиків[1].



## 1.4 Принцип визначення значення вологості

Мнемосхема сушарки представлена на рисунку 1.6.

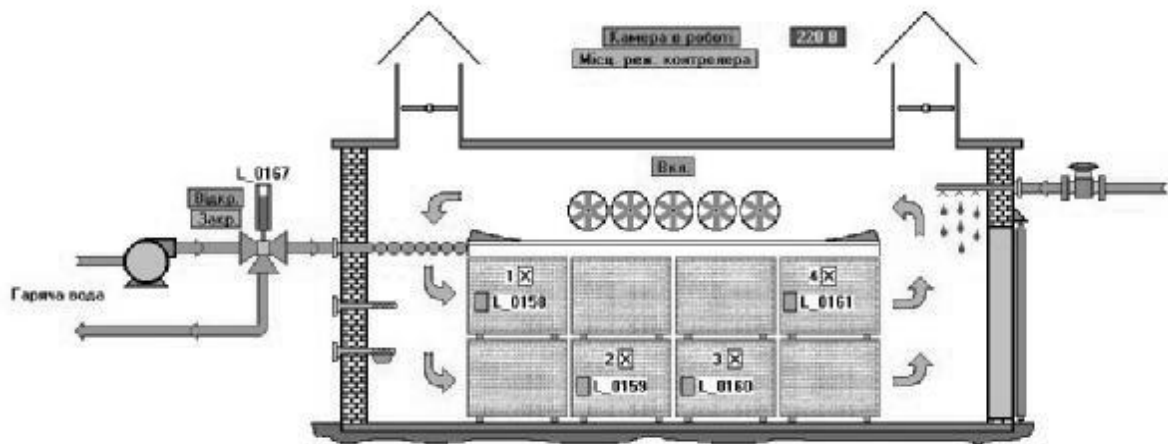


Рисунок 1.6 - Мнемосхема сушарки

За емпіричними формулами розраховується значення рівноважної вологості деревини  $W_p$ .

В будь-якому режимі роботи системи за допомогою вимірювача вологості деревини ИВ-3, що працює за принципом зміни омичного опору залежно від вологості деревини, виконується поточне дистанційне вимірювання вологості в чотирьох штабелях сушарки. Для цього в площину дошки на глибину  $1/3$  її товщини на віддалі 10 мм вкручуються два шурупи так, щоб електричний струм проходив вздовж волокон. Шурупи за допомогою електричних провідників з'єднані з вимірювальною схемою (рис. 1.7). Таким чином, шляхом переключення система по черзі отримує інформацію про поточну вологість деревини в штабелях. При цьому вираховується середнє значення за кількістю давачів, вибраних для контролю (максимально 4 шт.).

На підставі початкових даних про породу деревини, її геометричних розмірів, вимоги до категорії якості сушіння і деяких технічних характеристик сушарки (швидкість агента сушіння через штабель, максимальне значення температури агента сушіння і т.ін.) оператор-технолог згідно зі стандартом

ГОСТ 19773-84 “Режимы сушки в камерах периодического действия” вибирає раціональний режим сушіння, тобто розпис параметрів  $T$ ,  $\Delta T$  і  $FI$  залежно від поточного значення вологості деревини.

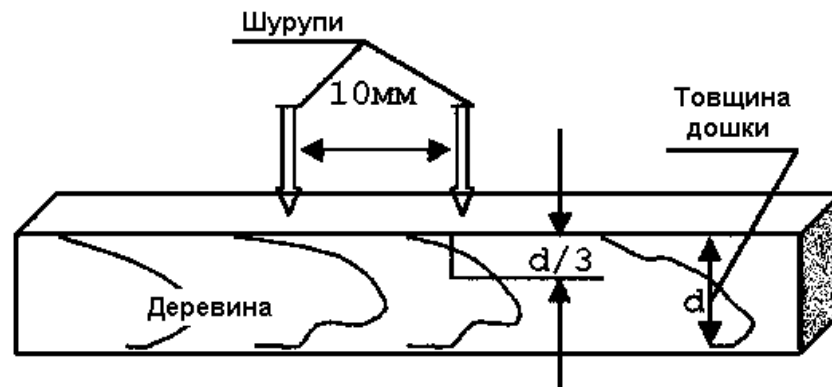


Рисунок 1.7 – Схема установки (кріплення) електродів (шурупів) для вимірювання вологості пиломатеріалів

Перед початком сушіння оператор-технолог за допомогою текстової панелі контролера або з операторської станції вводить в систему параметри агента сушіння, початкову і кінцеву вологість деревини, її породу, товщину і ширину, а також коефіцієнти сушіння за етапом. Ввід даних для сушіння виконується в інтерактивному режимі.

Будучи переведеною в автоматичний або дистанційний режим роботи, система в режимі реального часу отримує інформацію про поточну вологість деревини і порівнює її з заданими значеннями першої перехідної (30%), другої перехідної (20%) або кінцевої вологості деревини (рис. 1.8).

На рисунку 1.8 використані наступні позначення:

- $W, W_n, W_k$  - поточна, початкова і кінцева вологість деревини;
- $t$  - температура агента сушіння за сухим термометром;
- $T_1$  - тривалість прогрівання;
- $T_2, T_3$  - тривалість проміжної і кінцевої вологотеплообробки;
- а - початок сушіння,      б - кінець сушіння.

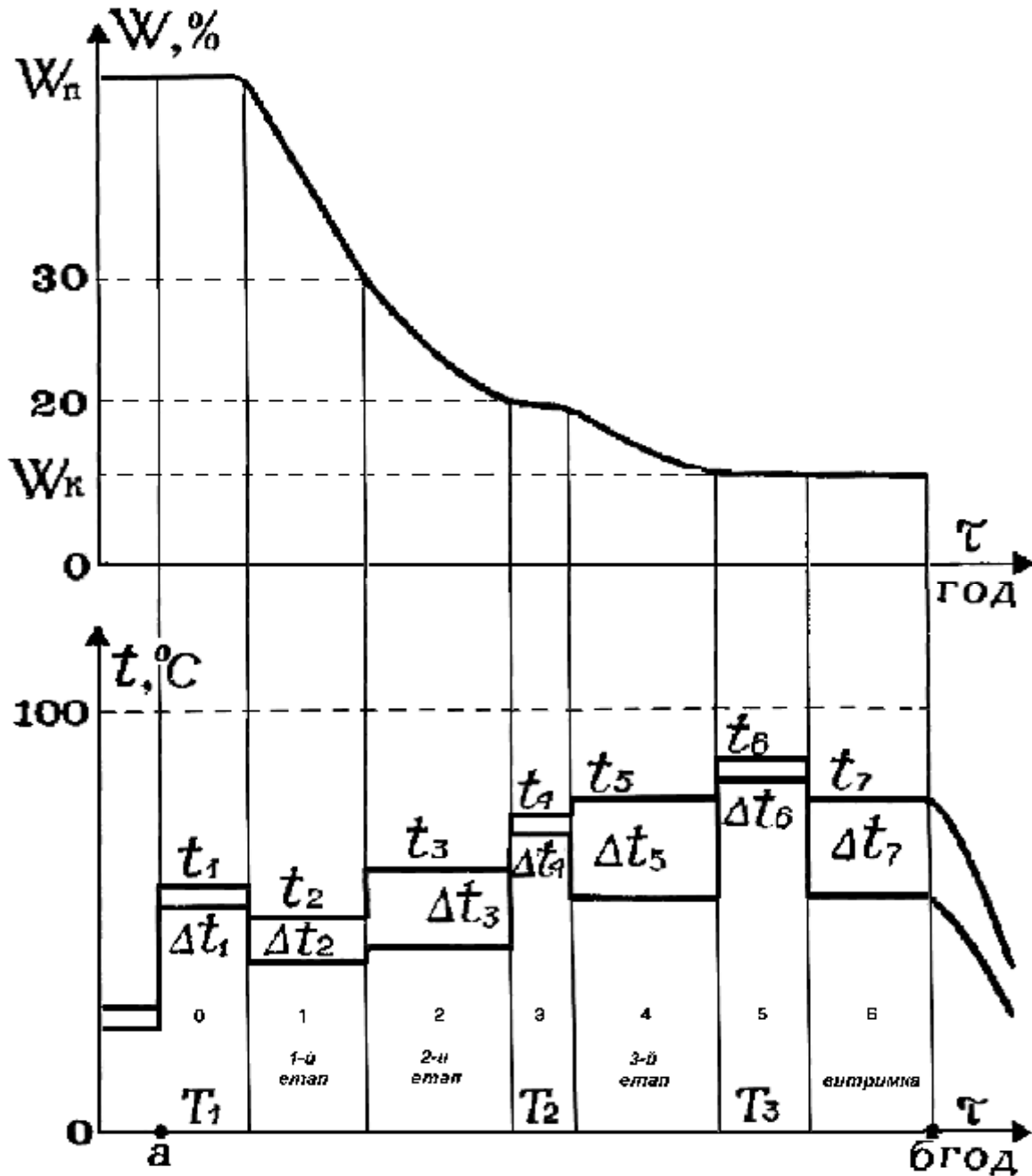


Рисунок 1.8 – Керування процесом сушіння деревини в лісосушильній камері періодичної дії.

Коли поточне значення вологості деревини стає рівним перехідному, то контролер задає параметрам агента сушіння, температурі і психрометричній різниці, нові значення, які відповідають наступному етапу сушіння. В проміжках часу між моментами переключення режимних параметрів контролер

підтримує ці значення на заданому рівні за стандартним ПД-алгоритмом шляхом вмикання і вимикання електроприводів, відповідно, для температури за сухим термометром - клапана на гарячій воді, а для температури за зволженим термометром, що відповідає психрометричній різниці, - шиберів зовнішньообмінної вентиляції або клапана на холодній воді. При необхідності процес сушіння переводиться на проміжну і кінцеву вологотеплообробку, тривалість яких так само як і тривалість прогрівання підтримується таймерами контролера [12-15].

Перехідні значення вологості деревини вибираються згідно з рекомендаціями стандарту ГОСТ 19773-84, і вони гарантують безпечний режим сушіння і задану якість висушуваних пиломатеріалів. Для хвойних порід встановлюється перехідна вологість 35 і 25%.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Структурний синтез швидких нейромереж

Добре відомо, яку величезну роль в обробці сигналів зіграло відкриття алгоритму швидкого перетворення Фур'є. Алгоритм ШПФ дозволив кардинальним образом зменшити кількість обчислювальних операцій при виконанні спектральних перетворень, що значно розширило сферу використання спектрального аналізу при обробці даних. Реалізація ШПФ у технології великих інтегральних схем привела до істотного зменшення площі кристала для спектральних аналізаторів, і відповідно зменшилося їхнє енергоспоживання.

Для нейронних мереж задача скорочення числа обчислювальних операцій не менш актуальна. При великих розмірностях оброблюваних даних нейронні мережі з багат шаровою структурою вимагають значного обсягу обчислювальних операцій для реалізації алгоритму нейрообробки. Це обмежує застосування подібних мереж у системах реального часу. Алгоритми ШПФ мають виражену багат шарову структуру подібну до структури багат шарових персептронів, тому напрошується природне рішення – використовувати ідеологію ШПФ для побудови нейронних мереж [5]. Для цього досить в операціях «метелик» ШПФ замінити коефіцієнти перетворення що перебудовуються синаптичними вагами і додати нелінійні функції активації. Слід зазначити, що перший крок у цьому напрямку був зроблений досить давно. Ще в історичній роботі Гуда [6] був приведений аналітичний опис швидких алгоритмів для узагальнених спектральних перетворень. Узагальнене спектральне перетворення з позицій сьогодення можна розглядати як нейронну мережу з лінійними функціями активації. В наступні роки тема

узагальнених спектральних перетворень розвивалася в роботах Ендрюса , Солодовникова, Лабунця й інших авторів [7, 8, 9, 10].

Алгоритми ШПФ і родинні їм узагальнені спектральні перетворення мають регулярну структуру. Регулярність породжує два обмеження: по-перше, розмірність вектора оброблюваних даних для всіх шарів повинна бути однаковою  $i$ , по-друге, значення цієї розмірності повинне бути складеним числом, тобто розкладатися в добуток цілих множників. Для нейронних мереж найбільше істотно перше обмеження, оскільки збіг розмірностей векторів по всіх шарах досить рідкий випадок у практиці нейронних мереж. Друге обмеження також зменшує число допустимих варіантів вибору нейронних мереж, але, очевидно, це неминуча плата за швидкодію і регулярність. У даній роботі буде розглянута побудова нейронних мереж з регулярною структурою, що успадковують високу обчислювальну ефективність алгоритмів ШПФ, але допускають реалізацію нейронних шарів мережі з різною розмірністю.

## **2.2 Структурний аналіз алгоритмів ШПФ**

Набір алгоритмів, названих алгоритмами ШПФ ввійшов у практику спектрального аналізу починаючи з робіт Кули-Т'юки [11]. Зазначена публікація з'явилася саме в потрібний момент і послужила каталізатором застосування методу спектрального аналізу для цифрової обробки сигналів. Робота Гуда [6] була опублікована на кілька років раніше, але як це часто буває пройшла майже непоміченої. У методології Кули-Т'юки явно була виражена думка, що ШПФ треба розглядати не як одиночний алгоритм, а як послідовність алгоритмів наростаючої складності з зменшенням обчислювальних витрат. З волі розроблювача може бути обраний будь-який алгоритм із цієї послідовності. Особливо важливий цей факт для нейронних

мереж, при використанні яких часто потрібно знайти компромісне рішення між швидкістю і здатністю нейронної мережі до навчання. Існує безліч стратегій у побудові послідовності алгоритмів ШПФ, як правило, вони засновані на способі розбивки вхідного вектора на підвектори. Згідно роботі [12] розглянемо як приклад стратегію синтезу послідовності алгоритмів ШПФ «із проріджуванням по частоті».

Для вектора  $X = \{x(i)\}$   $0 \leq i \leq N - 1$  пряме дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) визначається виразом:

$$y(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i) e^{-j \frac{2\pi}{N} ik}, \quad (2.1.)$$

де  $k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$  - номер гармоніки.

Величину  $W = e^{-j \frac{2\pi}{N}}$  звичайно називаю обертаючим множником. Число комплексних операцій множення при виконанні ДПФ у загальному випадку дорівнює  $N^2$ .

Для алгоритмів ШПФ, як правило, вибирають значення  $N = 2^n$ , де  $n$  - ціле число. У стратегії з проріджуванням по частоті вектор  $X = \{x(i)\}$  розбивається на два підвектори за правилом:

$$\begin{aligned} x_1(i) &= x(i), & i &= 0, 1, 2, \dots, N/2 - 1, \\ x_2(i) &= x(i + N/2), & i &= 0, 1, 2, \dots, N/2 - 1. \end{aligned} \quad (2.2.)$$

Цей прийом дозволяє звести обчислення  $N$  - точкового перетворення до обчислення двох  $N/2$  - точкових перетворень, при цьому число комплексних операцій множення буде значно менше  $N^2$ . Математичні деталі цієї ідеї докладно представлені в главі 6 роботи [12]. На рис. 2.1 у графічній формі показаний приклад переходу від восьмиточкового ДПФ до двох чотирьохточкових ДПФ при проріджуванні по частоті. На рис. 2.2 приведена базова операція «метелик» для алгоритму ШПФ із проріджуванням по частоті.

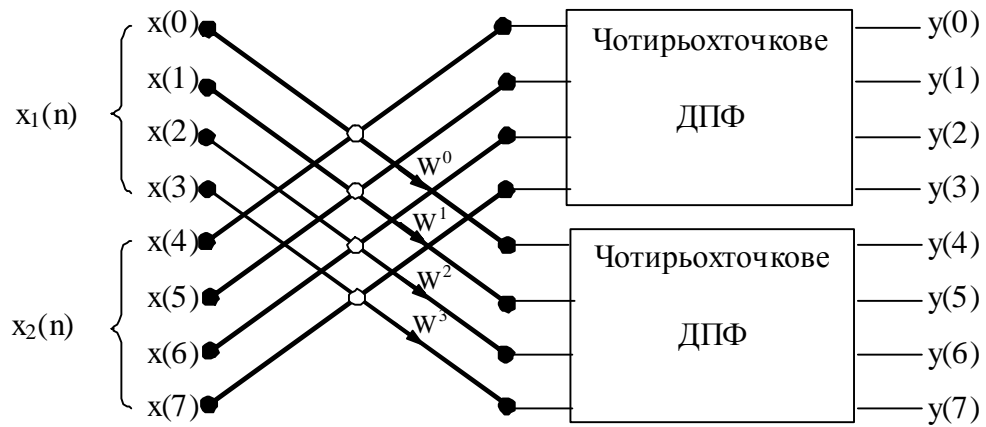


Рисунок 2.1 – Варіант розділення по частоті

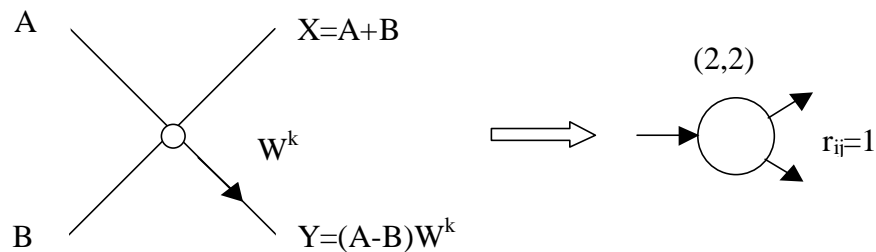


Рисунок 2.2 – Базова операція „метелик”

У загальному випадку базова операція визначається матрицею  $W$  розмірності  $p \times p$ :

$$W = \begin{pmatrix} w_{00} & w_{01} & \dots & w_{0,p-1} \\ w_{10} & w_{11} & \dots & w_{1,p-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{p-1,0} & w_{p-1,1} & \dots & w_{p-1,p-1} \end{pmatrix} \quad (2.3.)$$

(Тут і далі вважається, що нумерація рядків і стовпців у матрицях починається з нульового індексу). Для базової операції «метелик» значення  $p$  дорівнює двом, а для чотирьохточкового перетворення ДПФ  $p = 4$ .

Якщо зіставити кожній базовій операції вершину графа (як показана на рис. 2.2), а дугам - оператори зв'язку між базовими операціями, то одержимо інше структурне представлення алгоритму ШПФ, що будемо називати



структурною моделлю алгоритму. На рис. 2.3 представлена структурна модель для алгоритму, показаного на рис. 2.1. На графі структурної моделі приведені також розміри матриць базових операцій і ранги операторів зв'язку (для алгоритмів ШПФ ранги зв'язків завжди дорівнюють одиниці). Незавжди підрахувати число обчислювальних операцій множення (це число позначається далі через  $Z$ ) для структурної моделі, що показана на рис. 2.3, досить просумувати число множення по всіх базових операціях:

$$Z = 2' 2 + 2' 2 + 2' 2 + 2' 2 + 4' 4 + 4' 4 = 48 .$$

Відмітимо для порівняння, що пряме восьмиточкове ДПФ вимагає  $8' 8 = 64$  операції множення. Кожне дискретне перетворення розмірності  $N/2$  у свою чергу може бути зведене до двох  $N/4$  точкових перетворень. На рис. 2.4 показаний повний граф восьмиточкового ШПФ із проріджуванням по частоті, на рис. 2.5 приведена відповідна структурна модель. У загальному випадку розмірність перетворення може бути складеним числом:

$$N = n_{k-1} n_{k-2} \mathbf{K} n_1 n_0 , \quad (2.4.)$$

де  $n_i$  - цілі числа (не обов'язково прості). У цьому випадку структурна модель складається із  $k$  шарів з розмірністю базових операцій  $(n_i, n_i)$  у шарі  $i$  і числом вершин у шарі  $k_i = N/n_i$ . Зокрема для вхідного і вихідного шару число вершин визначаються добутками:

$$k_0 = n_{k-1} n_{k-2} \mathbf{K} n_1 , \quad k_{k-1} = n_0 n_1 \mathbf{K} n_{k-2} . \quad (2.5.)$$

Позначимо через  $i$  номер вершини у вхідному шарі, а через  $j$  - номер вершини у вихідному шарі і представимо ці числа в позиційній багатоосновній системі числення [13]:

$$\begin{aligned} i &= (i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_1) = i_{k-1} n_{k-2} n_{k-3} \mathbf{K} n_1 + i_{k-2} n_{k-3} n_{k-4} \mathbf{K} n_1 + \mathbf{K} + i_2 n_1 + i_1 , \\ j &= (j_0 j_1 \mathbf{K} j_{k-1}) = j_0 n_1 n_2 \mathbf{K} n_{k-1} + j_1 n_2 n_3 \mathbf{K} n_{k-1} + \mathbf{K} + j_{k-2} n_{k-1} + j_{k-1} . \end{aligned} \quad (2.6.)$$

де  $i_1, j_1 \in [0, 1, \mathbf{K}, (n_i - 1)]$  – розрядні числа.

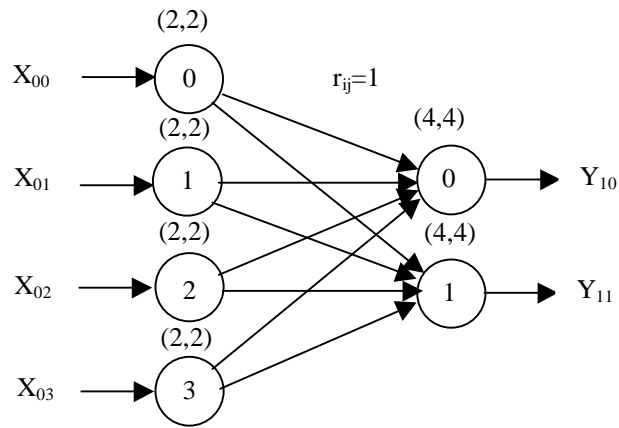


Рисунок 2.3 – Структурна модель алгоритму ШПФ

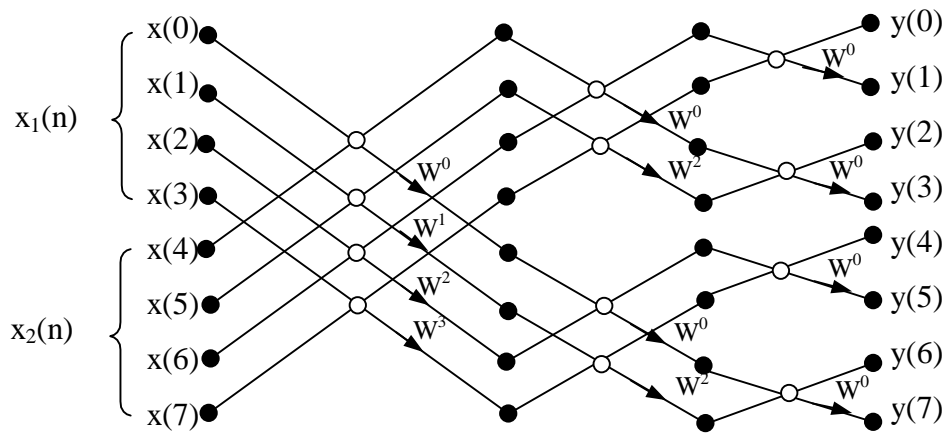


Рисунок 2.4 – Повний граф восьмиточкового ШПФ із проріджуванням по частоті

Для схованих шарів число вершин і їхня нумерація буде визначатися наступними виразами:

$$k_l = n_0 n_l \mathbf{K} n_{l-1} n_{l+1} n_{l+2} \mathbf{K} n_{k-1}, \quad (2.7.)$$

$$i^l = (j_0 j_l \mathbf{K} j_{l-1} i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_{l+1}). \quad (2.8.)$$

Структура міжшарових зв'язків може бути описана ранговими матрицями. Елемент рангової матриці дорівнює значенню рангу проектуючого оператора, що з'єднує базові операції суміжних шарів.

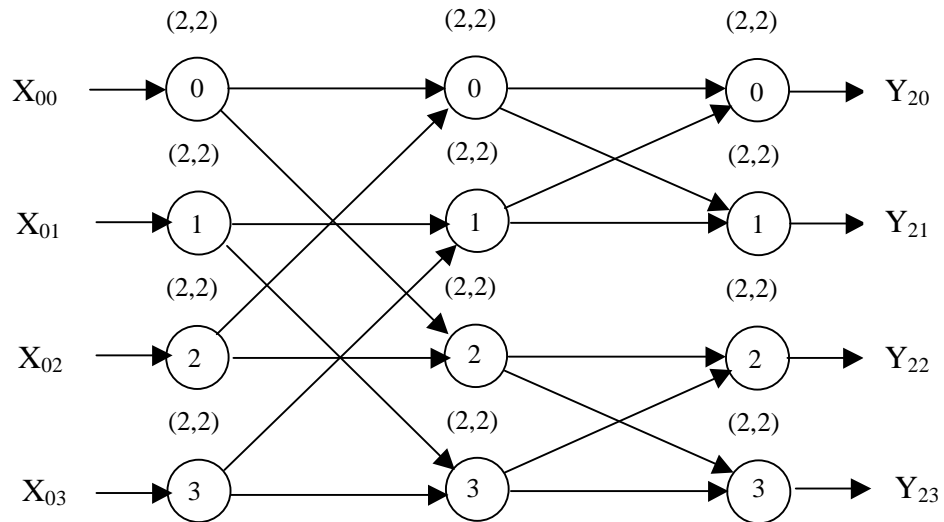


Рисунок 2.5 – Структурна модель восьмиточкового ШПФ

Приклад, для структурної моделі показаної на рис. 2.5, рангової матриці будуть мати вид:

$$R_0 = \begin{array}{c|cccc} i^0/i^1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{array}, \quad R_1 = \begin{array}{c|cccc} i^1/i^2 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 3 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array} \quad (2.9.)$$

Позначимо через  $\mathcal{G}(i^l)$  околицю вершини  $i^l$ , тобто підмножина вершин безпосередньо зв'язаних з вершиною  $i^l$ . Це підмножина цілком належить шару  $l+1$  (у випадку прямонаправленої мережі). Номер вершини в шарі  $l+1$  визначається виразом:

$$i^{l+1} = (j_0 j_1 \mathbf{K} j_{l-1} j_l i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_{l+2}), \quad (2.10.)$$

а число ненульових елементів у кожному рядку рангової матриці дорівнює  $n_l$ . Розрядне число  $j_l \in [0, 1, \mathbf{K}, (n_l - 1)]$  можна розглядати як селектор вершин в околиці  $\mathcal{G}(i^l)$ , для обраної стратегії справедливо наступне правило формування околиці:

$$\mathcal{G}[(j_0 j_1 \mathbf{K} j_{l-1} i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_{l+1}), j_l] = (j_0 j_1 \mathbf{K} j_l i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_{l+2}) = i^{l+1}. \quad (2.11.)$$

Наприклад, для структурної моделі показаної на рис. 3.5, околиці вершин можуть бути представлені в наступному виді:

$$\mathbb{G}_0 = \begin{array}{c|cc} i^0/j_0 & j_0=0 & j_0=1 \\ \hline 0 & 0 & 2 \\ 1 & 1 & 3 \\ 2 & 0 & 2 \\ 3 & 1 & 3 \end{array}, \quad \mathbb{G}_0[(i_2 i_1), j_0] = (j_0 i_2) \quad (2.12.)$$

$$\mathbb{G}_1 = \begin{array}{c|cc} i^1/j_1 & j_1=0 & j_1=1 \\ \hline 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 2 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 3 \end{array}, \quad \mathbb{G}_1[(j_0 i_2), j_1] = (j_0 j_1) \quad (2.13.)$$

Матриці  $\mathbb{G}$  звичайно називають матрицями суміжності [14] чи таблицями зв'язків. Кожен рядок матриці суміжності містить околицю відповідної вершини. З приведеного вище аналізу можна зробити наступні висновки:

- 1) розмірність швидкого перетворення є складеним числом;
- 2) базові операції визначаються квадратними матрицями, що у межах шару мають однаковий порядок;
- 3) ранги зв'язків між базовими операціями дорівнюють одиниці;
- 4) структурна модель алгоритму ШПФ не містить паралельних шляхів і є слабозв'язаною мережею [15].

Перераховані умови можна покласти в основу проектування швидких нейронних мереж (ШНМ).

### 2.3 Алгоритм структурного синтезу ШНМ

У контексті нейронних мереж базовій операції відповідає група нейронів, яку будемо називати нейронним ядром. Процес побудови послідовності алгоритмів ШПФ можна представити як покрокову процедуру розподілу

нейронних ядер, а процедуру синтезу як генетичну програму породження нейронної мережі. Додаткові обмеження, обумовлені регулярністю, дозволяють одержати зручну аналітичну форму для алгоритму структурного синтезу. У процедурі синтезу можлива реалізація декількох стратегій, вище вже була розглянута стратегія «із проріджуванням по частоті». Розглянемо цей варіант у застосуванні до нейронних мереж.

Нехай  $N = n_{k-1}n_{k-2} \mathbf{K} n_1 n_0$  розмірність рецепторного поля НМ і  $M = m_{k-1}m_{k-2} \mathbf{K} m_1 m_0$  розмірність вихідного аксонового поля. Будемо вважати, що співмножники  $n_l, m_l$  упорядковані, так що зі зростанням індексу  $l$  монотонно зростає значення множників. Визначимо сукупність чисел  $N_l, M_l$  рекурентними співвідношеннями:

$$N_{l+1} = N_l / n_l, \quad M_{l+1} = M_l / m_l, \quad (2.14.)$$

поклавши початкові значення рівними  $N_0 = N$  і  $M_0 = M$ . Шари нейронної мережі будемо нумерувати, починаючи з індексу 0.

Перший крок. На першому кроці синтезу батьківське ядро розмірності  $(N, M)$  розкладається в дводольну структуру, що містить  $k$  ядер у рецепторній області і  $l$  ядер в аксоновій області. Відповідно до прийнятої стратегії необхідно вибрати  $k \gg l$ , тому приймемо

$$k = n_{k-1}n_{k-2} \mathbf{K} n_1 = N_0 / n_0 = N_1, \quad l = m_0 \quad (2.15.)$$

При ранзі зв'язків рівному 1 число нейронів у створеному шарі буде дорівнювати:

$$D_0 = kl = N_1 m_0. \quad (2.16.)$$

Ядра рецепторної області розмірності  $(p, g)$ , де:

$$p = N/k = n_0 \text{ - «число рецепторів»,}$$

$$g = D_0/k = m_0 \text{ - «число нейронів»}.$$

Аксонова область буде мати характеристики  $(\bar{p}, \bar{g})$ , де:

$$\bar{p} = D_0/l = N_1, \quad \bar{g} = M/l = M/m_0 = M_1. \quad (2.17.)$$

Рангову матрицю у породженій дводольній структурі позначимо символом  $\tilde{R}_0$ . Ця  $[0,1]$  матриця буде мати розмірність  $[k \ l] = [N_1 \ m_0]$ . Символ “ $\sim$ ” у позначенні підкреслює, що матриця буде піддана модифікації на наступному кроці. (Відмітимо, що алгоритм синтезу може бути зупинений і на першому кроці). У результаті виконання першого кроку утвориться два шари, що позначимо індексами 0 і 1. У шарі 0 міститися ядра рецепторної області, що мають мінімальні розміри  $(n_0, m_0)$ . Прийmemo розмірності ядер нульового шару через  $(p_0, g_0)$ . Сформований шар 0 будемо називати веденим шаром. На другому кроці розкладанню в дводольну структуру буде підданий шар 1, який назвемо ведучим шаром.

Другий крок. На другому кроці розкладанню буде піддаватися кожне ядро 1-го (ведучого) шару. Усі ядра ведучого шару мають однакові структурні характеристики  $(N_1, M_1)$ . Нехай при розкладанні ядра в дводольну структуру утвориться  $k$  ядер у рецепторній області і  $l$  ядер в аксоновій області. При обраній стратегії необхідно виконати умову  $k \gg l$ , тому прийmemo:

$$k = n_{k-1} n_{k-2} \mathbf{K} n_2 = N_1 / n_1 = N_2, \quad l = m_1 \quad (2.18.)$$

Число нейронів у породженому шарі буде дорівнює:

$$D_1 = kl = N_2 m_1 \quad (2.19.)$$

Ядра рецепторної області будуть мати характеристики:

$$p = N_1 / k = N_1 / N_2 = n_1 \text{ - число рецепторів,}$$

$$g = D_1 / k = m_1 \text{ - число нейронів.}$$

Аналогічно ядра аксонової області будуть мати характеристики:

$$\bar{p} = D_1 / l = N_2, \quad \bar{g} = M_1 / l = M_1 / m_1 = M_2 \quad (2.20.)$$

Ядра рецепторної області знаходяться в шарі 1 і мають мінімальні розміри,  $(n_1, m_1)$  тому цей шар на наступних кроках алгоритму розкладатися не буде. Позначимо характеристики ядра 1-го шару через  $(p_1, g_1)$ . Шар з індексом 2 буде

містити ядра з характеристиками  $(N_2, M_2)$ , і буде піддаватися розкладанню на наступному кроці.

Матриця  $\tilde{R}_0$  (побудована на першому кроці) після другого кроку піддається модифікації, оскільки відбувається збільшення числа вершин у шарі 1 у  $N_2$  раз. Правило модифікації матриці визначається прийнятою стратегією синтезу. Для аналітичного представлення алгоритму модифікації зручно використовувати таблиці зв'язків. Таблиця зв'язків, що відповідає матриці  $\tilde{R}_0$ , буде мати вид:

$$\tilde{G}_0 = \begin{matrix} \emptyset & 1 & 2 & \mathbf{K} & m_0 - 1 \\ \emptyset & 1 & 2 & \mathbf{K} & m_0 - 1 \\ \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} \\ \emptyset & 1 & 2 & \mathbf{K} & m_0 - 1 \end{matrix} \quad (2.21.)$$

Рядок у таблиці відповідає рядку рангової матриці, і визначає околицю вершини шару 0. Позначимо через  $i^0$  номер рядка в таблиці, а через  $j_0$  - номер стовпця. Представимо число  $i^0$  в позиційній багатоосновній системі числення з основами  $n_{k-1}, n_{k-2}, \mathbf{K}, n_2, n_1$ . Неважко помітити, що в аналітичній формі елементи таблиці  $\tilde{G}_0$  можна задати виразом:

$$\tilde{G}_0[(i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_1), j_0] = j_0. \quad (2.22.)$$

При виконанні кроку 2 кожне батьківське ядро в шарі з індексом 1 породжує  $k = n_{k-1} n_{k-2} \mathbf{K} n_2 = N_2$  ядра-нащадків. Пронумеруємо породжені ядра послідовно в межах шару. Використовуючи багатоосновну позиційну систему числення, номер породженого ядра можна записати у виді:  $(j_0 i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_2)$ .

Для зростаючої нейронної мережі стратегію синтезу зручно інтерпретувати, як правило, що визначає спадкування зв'язків. На кожному породжуючому кроці вершини-нащадки успадковують і розділяють зв'язку своїх батьків. Правило спадкування в загальному випадку визначається трьома умовами:

- пріоритетом вершин околиці спадкування;

- пріоритетом вершин нащадків;
- процедурою спадкування.

Наприклад, може бути запропонована наступна домовленість про спадкування (назвемо його «право молодшого»):

- 1) в околиці спадкування найвищим пріоритетом володіють вершини молодших номерів;
- 2) серед вершин нащадків найвищим пріоритетом володіють вершини молодших номерів;
- 3) в процедурі спадкування ініціатива при розподілі зв'язків належить вершинам нащадків, що послідовно в порядку спадання власного пріоритету успадковують зв'язки з найбільш пріоритетними вершинами околиці спадкування.

Можна показати, що «право молодшого» відповідає стратегії «із проріджуванням по частоті» для ШПФ. Якщо алгоритм модифікації  $\tilde{\mathcal{G}} \otimes \mathcal{G}$  вибрати виходячи з принципу «право молодшого» у спадкуванні зв'язків, то прийдемо до наступного виразу:

$$\mathcal{G}[(i_{k-1}i_{k-2} \mathbf{K} i_1), j_0] = (j_0 i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_2) = i^l. \quad (2.23.)$$

Число  $(j_0 i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_2)$  визначає номер ядра в шарі 1 у позиційній системі числення з набором основ  $m_0, n_{k-1}, n_{k-2}, \mathbf{K}, n_2$ . Реалізація другого кроку алгоритму створює шар 2. Ядра шару 2 породжуються батьківськими ядрами шару 1, число яких дорівнює  $m_0$ . Кожне батьківське ядро створює  $l = m_1$  ядер-нащадків, тому загальне число ядер у породженому шарі буде дорівнює добутку  $m_0 m_1$ . Згідно принципу «право молодшого» елементи таблиці зв'язків між ведучим і веденим шаром задамо виразом:

$$\tilde{\mathcal{G}}_1[(j_0 i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_2), j_1] = (j_0 j_1), \quad (2.24.)$$

де розрядне число  $j_1$  належить інтервалу  $[0, 1, (m_1 - 1)]$ .

Третій крок. Шар з індексом 2 стає ведучим і розкладається в дводольну структуру. Новий ведений шар буде складатися з ядер з вагами  $(p_2, g_2) = (n_2, m_2)$ .



Число ядер у цьому шарі буде дорівнює  $k = m_0 m_1 N_3$ . Ведучий шар буде містити нейронні ядра з вагами  $(N_3, M_3)$  і їхнє число буде дорівнює  $l = m_0 m_1 m_2$ . Модифікація  $\tilde{\mathcal{G}} \otimes \mathcal{G}$  породжує таблицю з елементами:

$$\mathcal{G}_l[(j_0 i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_2), j_1] = (j_0 j_1 i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_3) = i^2. \quad (2.25.)$$

По індукції можна довести що елементи таблиць міжшарових зв'язків у загальному випадку будуть визначатися виразом:

$$\mathcal{G}_l[(j_0 j_1 \mathbf{K} j_{l-1} i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_{l+1}), j_l] = (j_0 j_1 \mathbf{K} j_l i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_{l+2}) = i^{l+1}. \quad (2.26.)$$

де  $l = 0, 1, 2, \dots, k-2$  - номер шару. Зокрема для останнього міжшарового переходу формула прийме вид:

$$\mathcal{G}_{k-2}[(j_0 j_1 \mathbf{K} j_{k-3} i_{k-1}), j_{k-2}] = (j_0 j_1 \mathbf{K} j_{k-2}) = i^{k-1}. \quad (2.27.)$$

Розмірності ядер по шарах і їхня кількість у кожному шарі визначаються виразами:

$$(p_l, g_l) = (n_l, m_l), \quad k_l = m_0 m_1 \mathbf{K} m_{l-1} n_{l+1} n_{l+2} \mathbf{K} n_{k-1}, \quad (2.28.)$$

Число нейронів у шарі  $l$  буде дорівнює:

$$D_l = n_{k-1} n_{k-2} \mathbf{K} n_{l+1} m_l m_{l-1} \mathbf{K} m_0, \quad (2.29.)$$

а номер ядра в порозрядному представленні буде мати вид:

$$i^l = (j_0 j_1 \mathbf{K} j_{l-1} i_{k-1} i_{k-2} \mathbf{K} i_{l+1}) \quad (2.30.)$$

## 2.4 Синтез структурної моделі ШНМ

Розглянемо процедуру побудови регулярної структурної моделі для нейронної мережі з розмірністю вхідних і вихідних даних, що мають наступні числові значення:

$$N = n_0 n_1 = 2 \times 2 = 4, \quad M = m_0 m_1 = 2 \times 1 = 2 \quad (2.31.)$$

Регулярна мережа буде мати два шари. Використовуючи (2.28) і (2.29) одержимо наступні структурні характеристики:

$$\begin{aligned} (p_0, g_0) &= (2, 2), & k_0 &= n_1 = 2, & D_0 &= n_1 m_0 = 2 \times 2 = 4, \\ (p_1, g_1) &= (2, 1), & k_1 &= m_0 = 2, & D_1 &= m_1 m_0 = 2 \times 1 = 2. \end{aligned}$$

Зв'язки між суміжними шарами визначаються однією ранговою матрицею, таблиця зв'язків, для неї визначається виразом (2.26) і буде мати наступний вид:

$$\mathfrak{G}[(i_2, i_1), j_0] = (j_0, i_2) = i^l. \quad (2.32.)$$

У розгорнутому представленні рангова матриця і відповідні таблиці зв'язків будуть мати вид:

$$R_0 = \begin{matrix} & i^0/i^1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix} \quad (2.33.)$$

$$\mathfrak{G} = \begin{matrix} & i^0/v_0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1, \end{matrix} \quad (2.34.)$$

де  $i^0, i^1$  - являють собою нумеровані індекси ядер у межах шару.

На рис. 2.6 показана структурна модель синтезованої ШНМ. Ваги всіх дуг у цій структурній моделі рівні одиниці. Для даної структурної моделі число операцій множення буде дорівнювати:

$$Z = p_0 g_0 k_0 + p_1 g_1 k_1 = 2' 2' 2 + 2' 1' 2 = 12.$$

У той час як для повнозв'язної мережі з тією же кількістю нейронів ця величина дорівнює:

$$Z_0 = ND_0 + D_0 D_1 + D_1 M = 4' 4 + 4' 2 + 2' 2 = 28.$$

Таким чином, видно явну перевагу у швидкодій синтезованої нейромережі за методом прорідження по частоті. У рамках прийнятої стратегії можна варіювати структуру нейронної мережі, змінюючи упорядкованість на складених множниках чисел  $N$  і  $M$ .

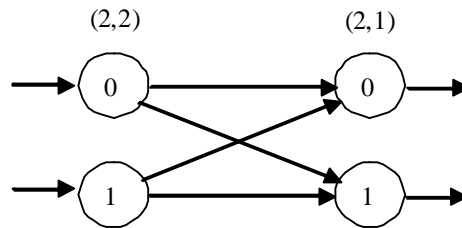


Рисунок 2.6 – Структурна схема нейроконтролера

## 2.5 Топологія нейронної мережі

Будь-яка конкретна реалізація нейронної мережі зв'язана з деяким «просторовим розміщенням» нейронних ядер. Систему «просторових координат» можна задати, визначивши лінійні порядки на множині рецепторів і множині аксонів кожного нейронного шару. Наприклад, для нейронного шару  $A$  можна присвоїти кожному рецептору порядковий номер  $U^A \hat{=} (0, 1, 2, \mathbf{K}, P-1)$ , а кожному аксону номер  $V^A \hat{=} (0, 1, 2, \mathbf{K}, G-1)$ , де  $P, G$  відповідно число рецепторів і число нейронів у шарі. У свою чергу для кожного нейронного ядра  $A_i$  з числом рецепторів  $P$  і числом нейронів  $g$  можна ввести локальні порядкові номери  $u_{A_i} \hat{=} (0, 1, 2, \mathbf{K}, p-1)$  і  $v_{A_i} \hat{=} (0, 1, 2, \mathbf{K}, g-1)$ . Топологією нейронного ядра будемо називати пари числових відображень  $s_{A_i} : U^A \otimes u_{A_i}$  і  $m_{A_i} : V^A \otimes v_{A_i}$ , що визначають точну однозначну відповідність між глобальними і локальними порядковими номерами. Дані відображення зручно задавати таблицями наступного виду:

$$s_{A_i} = \begin{matrix} \begin{matrix} \otimes \\ \otimes \\ \otimes \end{matrix} U_0^A & U_1^A & \mathbf{K} & U_{p-1}^A \\ \begin{matrix} \otimes \\ \otimes \\ \otimes \end{matrix} 0 & 1 & \mathbf{K} & p-1 \end{matrix} \quad m_{A_i} = \begin{matrix} \begin{matrix} \otimes \\ \otimes \\ \otimes \end{matrix} V_0^A & V_1^A & \mathbf{K} & V_{g-1}^A \\ \begin{matrix} \otimes \\ \otimes \\ \otimes \end{matrix} 0 & 1 & \mathbf{K} & g-1 \end{matrix} \quad (2.35.)$$

У ядерних нейронних мережах рецепторні поля нейронних ядер не перетинаються, тому має місце:

$$s_{A_i} \otimes s_{A_j} = 0, \quad m_{A_i} \otimes m_{A_j} = 0 \quad \text{для} \quad i \neq j \quad (2.36.)$$

Нехай  $X_A$  вхідний вектор для нейронного шару  $A$ , а  $Y_A$  - вихідний вектор. На вхід кожного нейронного ядра  $A_i$  надходить компонента  $X_{A_i}$  вхідного вектора, а з виходу знімається компонент  $Y_{A_i}$ . Вектора  $X_A$  і  $Y_A$  виражаються прямими сумами векторних компонентів:

$$X_A = \mathring{a} \sum_i X_{A_i}, \quad Y_A = \mathring{a} \sum_i Y_{A_i}, \quad (2.37.)$$

що є наслідком умови (2.36). Зворотню операцію зв'язану з виділенням векторної компоненти із суми будемо розглядати, як дія часткової підстановки на вектор і записувати у виді:

$$X_{A_i} = X_A * s_{A_i}, \quad Y_{A_i} = Y_A * m_{A_i}. \quad (2.38.)$$

Комбінації символів  $* s_{A_i}$ ,  $* m_{A_i}$  можна розглядати і як символічне позначення проектуючих операторів, однак, запис у виді формального добутку дає ряд переваг при математичних викладках.

Розглянемо тепер два суміжних нейронних шари, вважаючи, що шар  $A$  передує шару  $B$ . Вихідний вектор шару  $A$  проектується на вхід шару  $B$ . Формально цю операцію можна записати у виді:

$$X_B = Y_A * q, \quad (2.39.)$$

де  $q$  - деяка числова підстановка, що відповідає оператору міжшарового переходу. Оператор міжшарового переходу індукує локальні зв'язки між нейронними ядрами, так що

$$X_{B_j} = \mathring{a} \sum_i Y_{A_i} * r_{ij}, \quad (2.40.)$$

де  $r_{ij}$  - часткові підстановки, що відповідають локальним між'ядерним проектуючим операторам.

У роботі [16] викладений алгоритм побудови топології, заснований на властивостях (2.30). Нижче приводиться його короткий опис. Нехай  $R = [r_{ij}]$  рангова матриця, що визначає зв'язки між нейронними шарами  $A$  і  $B$ . Оскільки рецепторні поля нейронних ядер не перетинаються то

$$\begin{aligned} \mathring{a}_i r_{ij} = p_B, & \quad \mathring{a}_j r_{ij} = g_A, \\ \mathring{a}_i \mathring{a}_j r_{ij} = G_A = P_B = D & \end{aligned} \quad (2.41.)$$

де  $D$  - розмірність вихідного вектора шару  $A$ . Розмістимо числову множину  $T = \{0, 1, 2, \mathbf{K}, D - 1\}$  на ненульових елементах рангової матриці  $R$ .

(На рис. 2.7 показано приклад такого розміщення для рангової матриці  $R_0$  структурної моделі рис. 2.1). Підмножини  $U_{B_j}, V_{A_i}$  відповідають верхнім рядкам табличних відображень  $s_{B_j}, m_{A_i}$ . Підмножини утворюються «проектуванням» по рядках і стовпцям матриці  $T$ . У загальному випадку елементи підмножин піддаються ще дії підстановки  $q$ , деталі алгоритму приведені в роботі [16]. Розглянутий алгоритм визначає топологічні підмножини для нейронних ядер, але не задає впорядкування елементів у цих підмножинах. Для того щоб установити відношення порядку досить вибрати деяке правило розгорнення матриці  $T$ . Прийmemo «природний порядок» розгорнення: по рядках – зліва направо, по стовпцях – зверху вниз. Порядок розгорнення однозначним чином визначає нижні рядки відображень  $s_{B_j}, m_{A_i}$ , наприклад, для матриці  $T$  показаної на рис. 2.7 при природному порядку розгорнення будемо мати:

$$\begin{aligned} m_{A_2} &= \begin{matrix} 2 \\ 6 \\ 8 \\ 0 \end{matrix} \begin{matrix} 5 \\ 1 \\ 0 \end{matrix} & s_{B_0} &= \begin{matrix} 2 \\ 6 \\ 8 \\ 0 \end{matrix} \begin{matrix} 2 \\ 1 \\ 2 \\ 0 \end{matrix} \\ T &= \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \\ \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} \\ \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} & \hat{e} \end{matrix} \begin{matrix} \textcircled{1} \\ \textcircled{2} \\ \textcircled{3} \\ \textcircled{4} \\ \textcircled{5} \\ \textcircled{6} \\ \textcircled{7} \\ \textcircled{8} \\ \textcircled{9} \\ \textcircled{10} \\ \textcircled{11} \end{matrix} \begin{matrix} V_{A_0} = (0,1) \\ V_{A_1} = (2,3) \\ V_{A_2} = (4,5) \\ V_{A_3} = (6,7) \\ V_{A_4} = (8,9) \\ V_{A_5} = (10,11) \end{matrix} \\ & (0,2,4)(6,8,10)(1,3,5)(7,9,11) = U_{B_0} U_{B_1} U_{B_2} U_{B_3} \end{aligned}$$

Рисунок 2.7 – Приклад розміщення числової множини  $T$

Різні топології можна формувати вибираючи те чи інше розміщення елементів множини  $T$  в ранговій матриці. Позначимо через  $t$  числове значення елемента множини  $T$ , через  $i, j$  номери рядків і стовпців у ранговій матриці  $R$ , а через  $v, u$  порядкові номери ненульових елементів уздовж рядків і стовпців рангової матриці. Довільне розміщення множини  $T$  можна задати як функції  $t(i, v)$  чи  $t(j, u)$ , наприклад при монотонно-зростаючому розміщенні уздовж рядків функція розміщення буде мати вид:

$$t(i, v) = ig_A + v, \quad (2.42.)$$

а при монотонно-зростаючому розміщенні уздовж стовпців:

$$t(j, u) = jp_B + u. \quad (2.43.)$$

Для вхідного рецепторного поля нейронної мережі і вихідного аксонового поля немає необхідності будувати двовимірне розміщення, і топологія полів задається довільними взаємно однозначними функціями:  $t(j, u)$  і  $t(i, v)$ .

У загальному випадку функції розміщення мають табличне представлення й у такому виді повинні зберігатися разом із синаптичною картою нейронної мережі. Але якщо розміщення множини вдається задати в аналітичному виді деякою формулою то тоді немає необхідності зберігати табличну форму, оскільки топологія може бути однозначно відновлена при виконанні алгоритму нейрообробки. Аналітичне представлення має підклас регулярних топологій, які і будуть розглянуті далі.

## 2.6 Регулярні топології

Розглянемо побудову регулярних топологій для схованих шарів при монотонно-зростаючому розміщенні уздовж рядків множини  $T$ . Впливаючи з формули (2.42) і використовуючи (2.30), функцію розміщення множини в позиційній системі можна представити у виді:

$$t^l(i^l, v_l) = (j_0 j_l \mathbf{K}_{j_l - l} i_{k-l} i_{k-2} \mathbf{K}_{i_{l+1} v_l}). \quad (2.44.)$$

Будемо вважати, що топологія рецепторних полів вхідного шару й аксонових полів вихідного шару також визначені монотонно-зростаючими функціями розміщення:

$$t^{(-l)}(i^0, u_0) = i^0 p_0 + u_0 = (i_{k-l} i_{k-2} \mathbf{K}_{i_l u_0}), \quad (2.45.)$$

$$t^{k-l}(i^{k-l}, v_{k-l}) = i^{k-l} g_{k-l} + v_{k-l} = (j_0 j_l \mathbf{K}_{j_{k-2} v_{k-l}}). \quad (2.46.)$$

Глобальний номер рецептора вхідного шару в позиційному представленні можна записати у виді:

$$U = (u_{k-l} u_{k-2} \mathbf{K}_{u_l u_0}) \quad (2.47.)$$

З порівняння з функцією розміщення випливає  $u_l = i_l$ . Аналогічно глобальний номер аксона вихідного шару представляється у виді  $V = (v_0 v_l \mathbf{K}_{v_{k-2} v_{k-l}})$  і при обраній функції розміщення варто прийняти  $v_l = j_l$ , тоді для схованих шарів глобальний номер аксона буде визначатися виразом:

$$V^l = (v_0 v_l \mathbf{K}_{v_{l-1} u_{k-l} u_{k-2} \mathbf{K}_{u_{l+1} v_l}}). \quad (2.48.)$$

Остання формула безпосередньо випливає з виразу (2.44) при підстановці нових позначень.

Будемо думати, що для будь-якого міжшарового переходу підстановка  $q$  є тотожною. З (2.48) випливає, що номер ядра шару  $l$  буде дорівнювати:

$$i^l = (v_0 v_l \mathbf{K}_{v_{l-2} v_{l-1} u_{k-l} u_{k-2} \mathbf{K}_{u_{l+1}}}) \quad (2.49.)$$

а для шару  $l+1$

$$i^{l+1} = (v_0 v_l \mathbf{K}_{v_{l-1} v_l u_{k-l} u_{k-2} \mathbf{K}_{u_{l+2}}}). \quad (2.50.)$$

Неважко помітити, що набір розрядних чисел у формулі (2.48) покриває набір розрядних чисел для номеру  $i^{l+1}$  і містить у собі також розрядне число  $u_{l+1}$ . Отже, по глобальному номері аксона  $V^l$  однозначно визначається номер ядра в шарі  $l+1$  і локальний номер рецептора для цього ядра.

Розглянемо процедуру побудови регулярної топології на прикладі двошарової ШНМ, показаної на рис. 2.6.

Нумерацію ядер і топології зв'язків для міжшарових переходів можна визначити, використовуючи вирази (2.49) і (2.48).

$$i^0 = (u_1) \quad V^0 = (u_1 v_0), \quad (2.51.)$$

$$i^1 = (v_0) \quad V^1 = (v_0 v_1), \quad (2.52.)$$

де відповідність розрядних чисел і основ системи числення визначаються наступними виразами:

$$\begin{matrix} \mathfrak{a}_0 & u_1 \ddot{\circ} & \mathfrak{a}_0 & u_1 \ddot{\circ} & \mathfrak{a}'_0 & v_1 \ddot{\circ} & \mathfrak{a}_0 & v_1 \ddot{\circ} \\ \mathfrak{e}^{n_0} & n_1 \emptyset & \mathfrak{e}^2 & 2 \emptyset & \mathfrak{e}^{m_0} & m_1 \emptyset & \mathfrak{e}^2 & 1 \emptyset \end{matrix} \quad (2.53.)$$

Результати представлені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Регулярна топологія створеної ШНМ (варіант 1)

$V^0 = (u_1, v_0)$		$i^1 = (v_0)$		$u_1$
0	0 0	0	0	0
1	1 0	1	0	1
2	0 1	0	1	0
3	1 1	1	1	1

Для рецепторів вхідного шару й акосонів вихідного шару глобальні номери визначаються виразами:

$$U^0 = (u_1 u_0), \quad V^1 = (v_0 v_1). \quad (2.54.)$$



При монотонно-зростаючому розміщенні множини  $T$  уздовж стовпців рангової матриці функція розміщення визначається виразом (2.43) звідки з врахуванням (2.50) будемо мати:

$$t^l(i^{l+1}, u_{l+1}) = U^{l+1} = (v_0 v_l \mathbf{K} v_{l-1} v_l u_{k-1} u_{k-2} \mathbf{K} u_{l+2} u_{l+1}). \quad (2.55.)$$

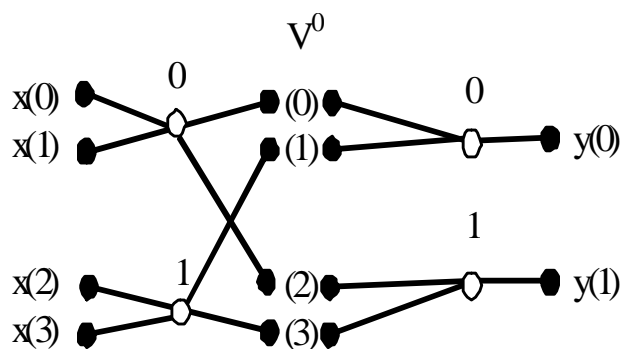


Рисунок 2.8 – Повний граф ШПФ синтезованого нейроконтролера

Формула (2.55) містить у собі набір розрядних чисел, який покриває набір розрядних чисел з виразу (2.49) і містить також розрядне число  $v_l$ , що визначає локальний номер аксона попереднього шару. Тому по номеру координати  $U^{l+1}$  вхідного вектора шару  $l+1$ , однозначно визначається номер  $i^l$  ядра попереднього шару і локальний номер аксона  $v_l$ , з яким дана координата безпосередньо зв'язана.

Для розглянутого прикладу нумерація ядер і топології зв'язків для міжшарових переходів визначається виразами:

$$i^0 = (u_l) \quad U^0 = (n_0 u_l), \quad (2.56.)$$

$$i^l = (v_0) \quad U^l = (v_0 v_l), \quad (2.57.)$$

Результати представлені в таблиці 2.2. Як і в попередньому випадку будемо думати, що глобальні номери рецепторів вхідного шару й аксонів

вихідного шару визначаються виразами (2.54). Аналізуючи таблиці 2.1 та 2.2 приходимо до висновку, що граф-схеми, складені по отриманих даних, ідентичні, а отже, для даного варіанту задачі топологія нейромережі – єдина (дивитися рис. 2.8).

Таблиця 2.2 - Регулярна топологія створеної ШНМ (варіант 2)

$U^1=(v_1,u_1)$		$i^0=(u_1)$		$v_1$
0	0 0	0	0	0
1	1 0	1	0	1
2	0 1	0	1	0
3	1 1	1	1	1

Зауважимо, що у загальному випадку зв'язок між локальними порядковими номерами  $u_1, v_1$  і розглядуваними числами  $i_1, j_1$  може виражатися через взаємно однозначні функції:

$$u_1 = j^{-1}(i_1), \quad v_1 = f^{-1}(j_1). \quad (2.58.)$$

Більш того, розрядні числа у виразі (2.44), (2.55) і у формулах похідних від нього можуть бути довільно переставлені, при цьому топологія мережі залишиться регулярною. Ці додаткові можливості можуть бути використані при побудові топологій ШНМ задовольняючих спеціальним вимогам.

## 2.7 Навчання нейроконтролера

### 2.7.2 Теорія інтерактивної адаптації

Запропонований адаптаційний алгоритм заснований на недавно розвинутій теорії адаптивної взаємодії [16]. Даний алгоритм використовується для адаптації деякої системи коефіцієнтів. В залежності від застосування і конфігурації алгоритму, коефіцієнтами, які підбираються, можуть бути ваговими коефіцієнтами НМ, це можуть бути прирости коефіцієнтів функції передачі.

Для застосування алгоритму до системи управління необхідно мати певну інформацію про агрегат. Даною інформацією може бути значення похідної Фреше. Більше того, дана похідна, як буде показано нижче, може бути апроксимована визначеними константами. Це робить алгоритм можливим до використання в невизначених системах і змінних, а отже, легко застосовуваним в системах широкого класу.

Теорія інтерактивної взаємодії розглядає  $N$  підсистем, які назвемо пристроями. Кожен пристрій індексований  $n \in \{1, 2, \dots, N\}$  і має інтегрований вихідний сигнал  $y_n$  і інтегрований вхідний сигнал  $x_n$ . Динаміка кожного пристрою може бути описана як причинний функціонал:

$$F_n : x_n \rightarrow y_n, \quad n \in \{1, \dots, N\} \quad (2.59.)$$

де  $x_n$  та  $y_n$  – відповідно простори вхідних і вихідних сигналів. Тому відношення між входом і виходом  $n$ -ного пристрою може бути подане як:

$$y_n(t) = (F_n \circ x_n)(t) = F_n[x_n(t)], \quad n \in \{1, \dots, N\} \quad (2.60.)$$

де  $\circ$ - означає функціональну композицію.

Взаємодія між пристроями досягається за рахунок зв'язків. Рисунок 2.9 показує графічну ілюстрацію пристроїв і їх зв'язків. Напрямок зв'язків позначений через  $C$ .

На рисунку використані наступні позначення, що використовуються для представлення зв'язків між пристроями:  $PRE_{C1}$  – це пристрій, чий вихід транслюється зв'язком  $C1$ ;  $POST_{C1}$  – це пристрій, цей вхід залежить від сигналу, що транслюється зв'язком  $C1$ . Крім того можна виділити напрям входу зв'язку для  $n$ -ного пристрою:

$$I_n = \{C : PRE_C = n\} \quad (2.61.)$$

Напрямок виходу зв'язку для кожного  $n$ -ного пристрою:

$$O_n = \{C : POST_C = n\} \quad (2.62.)$$

Допустимо лінійну взаємодію серед пристроїв і зовнішніми сигналами  $u_n(t)$ , таким чином:

$$x_n(t) = u_n(t) + \sum_{C \in I_C} a_C y_{PRE_C}, \quad n \in N \quad (2.63.)$$

де  $a_C$  – вага зв'язку.

З цим лінійним зв'язком динаміка системи запишеться у вигляді:

$$y_n(t) = F_n [u_n(t) + \sum_{C \in I_C} a_C y_{PRE_C}(t)], \quad n \in N \quad (2.64.)$$

Ціль алгоритму адаптації – адаптувати вагові коефіцієнти  $a_C$  так, що функція  $E(y_1, \dots, y_n, u_1, \dots, u_n)$  як функція від входів та виходів буде мінімізованою. Для представлення алгоритму ми повинні пояснити вам похідну по Фреше. Як описано в [46], нехай  $T$  буде визначене перетворення на відкритій області  $D$  в нормованому просторі  $X$ , причому порядок (ранг) простору буде  $Y$ . Якщо для фіксованого  $x \in D$  і будь-якого  $h \in X$  існує  $dT(x, h) \in Y$ , яка є лінійною і неперервною з відношенням до  $h$  таким, що

$$\lim_{\|h\| \rightarrow 0} \frac{\|T(x+h) - T(x) - dT(x, h)\|}{\|h\|} = 0 \quad (2.65.)$$

Тоді  $T$  називають диференційованим по Фреше і  $dT(x, h)$  називають похідною Фреше від  $T$  по  $x$  з приростом  $h$ . В нашому випадку  $T(x) = F_n(x)$  і  $dT(x, h) = F_n'(x) \bullet h$ , де  $F_n'(x)$  є похідною по Фреше.

Алгоритм адаптації поданий в наступній теоремі, де заради спрощення певні залежності від часу опущені.

Теорема: для системи з динамікою і записаною у виді:

$$y_n = F_n [ u_n + \overset{\circ}{a}_C y_{PRE_C} ], \quad n \hat{=} N \quad (2.66.)$$

приймаємо, що ваги зв'язків  $a_C$  є адаптованими згідно правила:

$$\overset{\circ}{a}_C = \frac{\frac{dE}{dy_{POST_S}} \bullet F_{POST_S}' [ x_{POST_S} ]}{\frac{dE}{dy_{POST_S}} \bullet F_{POST_S}' [ x_{POST_S} ] \bullet y_{POST_C}} - g \frac{\frac{\ddot{E}}{y_{POST_C}} \bullet F_{POST_C}' [ x_{POST_C} ] \bullet y_{PRE_C}}{\ddot{E}} \quad (2.67.)$$

де  $g > 0$  – адаптаційний коефіцієнт. Якщо (2.67) має єдине рішення щодо  $\overset{\circ}{a}_C, c \hat{=} C$  (це означає, що визначник Якобіана не повинен дорівнювати нулю в області значень), тоді функція  $E(y_1, \dots, y_n, u_1, \dots, u_n)$  буде зменшуватися монотонно з часом і наступний вираз буде завжди виконуватися:

$$\overset{\circ}{a}_C = -g \frac{dE}{da_C}, \quad c \hat{=} C \quad (2.68.)$$

Важливо зазначити, що якщо  $F_n$  і  $E$  є миттєвими функціями, то функціональну композицію можна замінити множенням. Вираз (2.67) буде тоді спрощений до:

$$\overset{\circ}{a}_C = F_{POST_C}' [ x_{POST_C} ] \frac{\frac{\ddot{E} y_{PRE_C}}{y_{POST_C}} \bullet \overset{\circ}{a}_S \bullet \overset{\circ}{a}_S}{\ddot{E} \bullet y_{POST_C}} - g F_{POST_C}' [ x_{POST_C} ] y_{PRE_C} \frac{\ddot{E}}{y_{POST_C}} \quad (2.69.)$$

Подана вище нерівність (2.69) може бути застосована до широкого класу систем, включаючи НМ.

Нейромережа, структуру якої ми отримали раніше і яка представлена на рис. 2.8, може бути розкладена згідно рис. 2.9 на піделементи – пристрої. На рис. 2.10 графічно показана ця мережа.

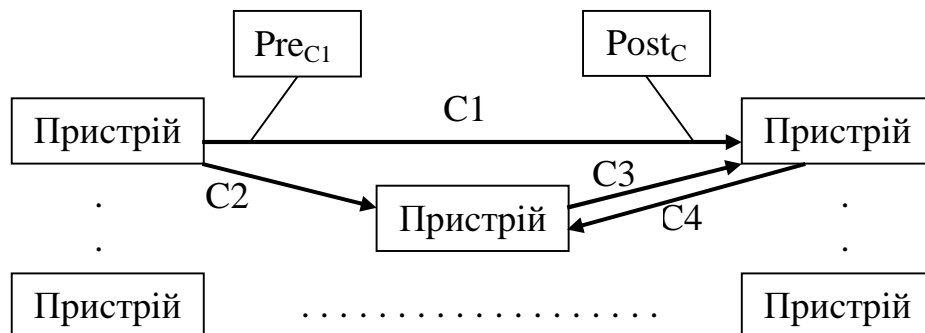


Рисунок 2.9 – Пристрої з їхніми зв'язками

Математично НМ і адаптаційний алгоритм може бути описаний:

$$p_n = \mathop{\mathbf{a}}_{s \hat{I} D_n} w_S r_{PRE_S} \quad (2.70.)$$

$$r_n = \mathbf{s}(p_n) \quad (2.71.)$$

Якщо ми відмітимо:

$$F_n = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \mathop{\mathbf{a}}_{s \hat{I} A_n} w_S^2 = \mathop{\mathbf{a}}_{s \hat{I} A_n} w_S \mathbf{w}_S \quad (2.72.)$$

Тепер застосуємо адаптаційне правило (2.70). Прирости ваг запишуться:

$$\mathbf{w}_S = r_{PRE_S} (F_{POST_S} \mathbf{s}(-p_{POST_S}) + \mathbf{g}_{POST_S}) \quad (2.73.)$$

Рівності (2.72) та (2.73) описують алгоритм адаптації Брендта-Ліна для використання його в НМ що є еквівалентним алгоритму зворотнього поширення похибки, але він не потребує мережі зі зворотнім зв'язком для поширення похибки назад.

### 2.7.3 Адаптивний НМК

Застосовуючи адаптаційний алгоритм Брендта-Ліна до НМК використаємо закриту циклічну конфігурацію НМК для системи, показаної на рисунку 2.11.

Щоб бути більш специфічним, НМК має 4 входи:  $e_1, e_2, e_3, e_4$ .  $e_1$  – похибка між вхідним першим сигналом і першим виходом  $y_1$  агрегату,  $e_2$  – сигнал, оброблений адаптивним алгоритмом, вхідними даними для якого був сигнал  $e_1$ , поданим з певною затримкою. Аналогічно,  $e_3$  – похибка між другим вхідним сигналом і другим виходом  $y_2$  агрегату,  $e_4$  – сигнал, оброблений алгоритмом адаптації, вхідними даними для якого був сигнал  $e_3$  і поданим з певною затримкою.

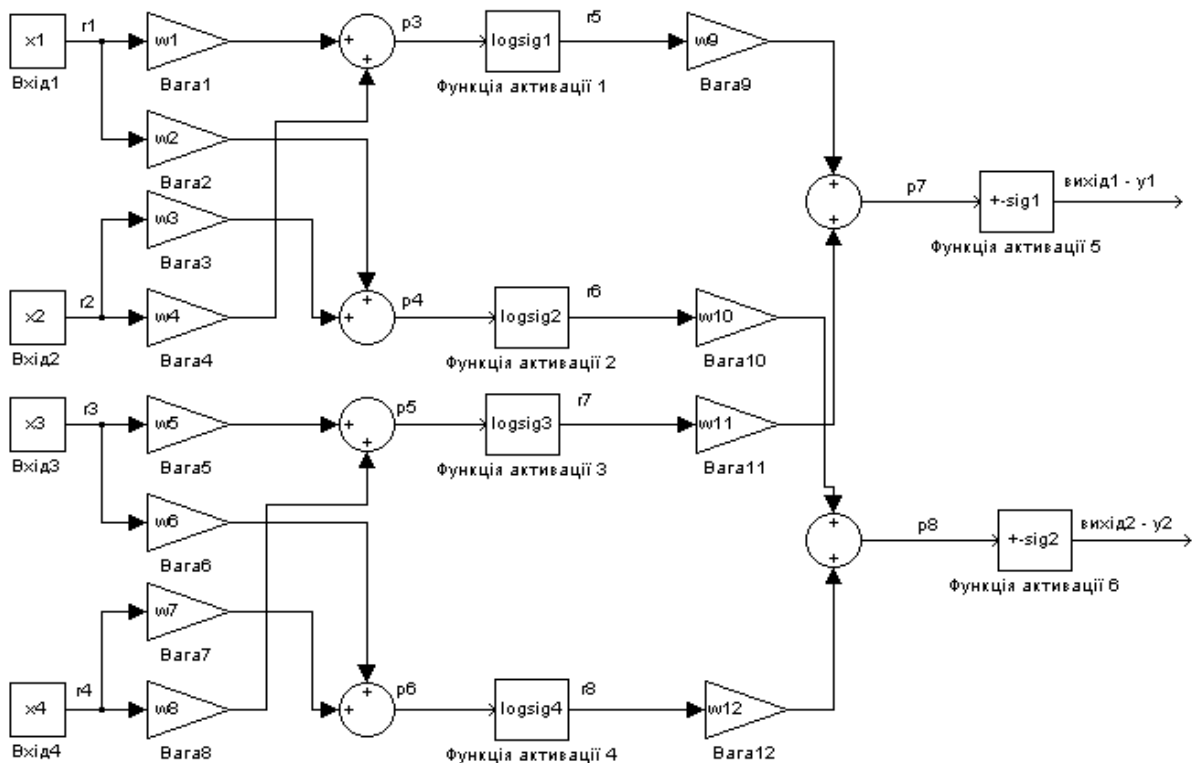


Рисунок 2.10 – Нейромережевий контролер

Причини введення сигналів  $e_2$  та  $e_4$  наступні: справність виходу нейроконтролера (сигнал управління) залежить як від поточного входу (в нашому випадку – похибки), так і від минулого входу. Для цього повинна вводитися певна затримка. По причині того, що НМК може мати більше, чим 2 входи (як в нашому випадку), введена множинна затримка (затримка по двох входах). Звідси, конфігурація НМК додатково представлена на рисунку 2.12.

Якщо ми використаємо просту НМ як на рис. 2.10, то НМК набере вигляду на рис. 2.13. Тут можна запропонувати два шляхи колибрування вихідного рівня сигналу управління контролера: тангенціальна сигмоїда на виході (дає можливість створити сигнал подвійної полярності на виході) і стале підсилення виходу.

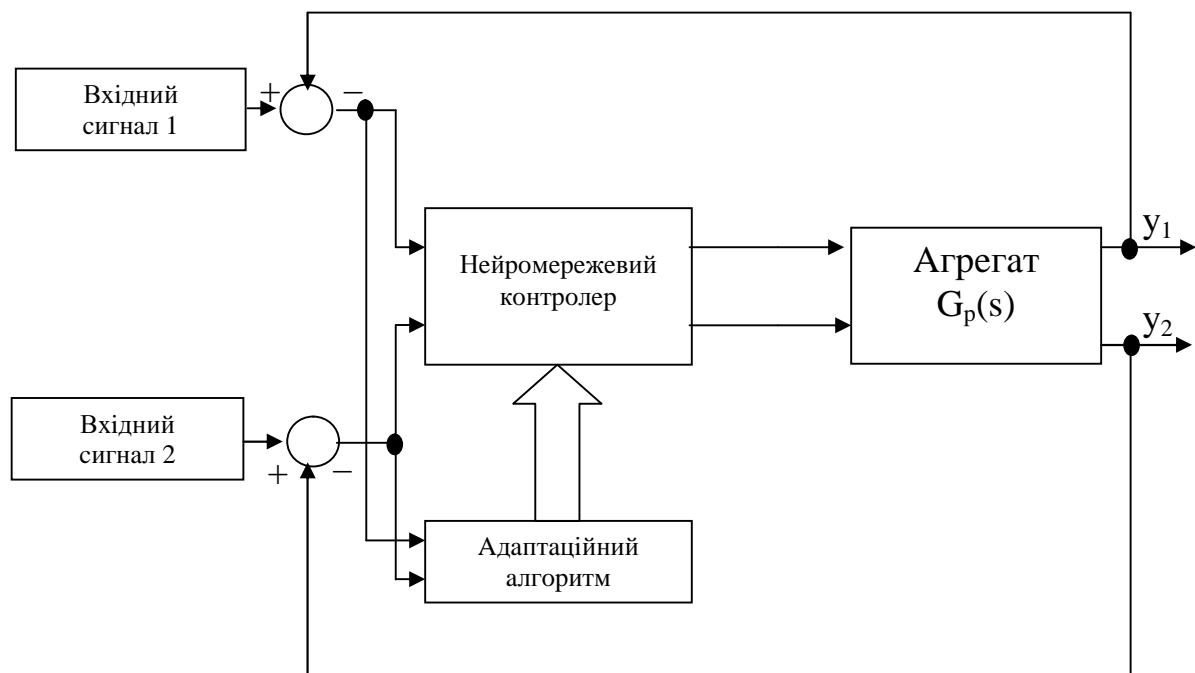


Рисунок 2.11 – Система управління на основі НМ

Як показала практика, в нашому випадку тангенціальна сигмоїда забезпечила кращий результат, в порівнянні з простим підсилювачем на виході.

Математично, відношення між входом та виходом можна представити як:

$$\begin{aligned}
 r_1 &= e_1 & r_2 &= e_2 & r_3 &= e_3 & r_4 &= e_4 \\
 p_3 &= r_2 w_4 + r_1 w_1 & p_4 &= r_1 w_2 + r_2 w_3 & p_5 &= r_4 w_8 + r_3 w_5 & p_6 &= r_4 w_7 + r_3 w_6 \\
 r_5 &= \mathbf{S}(p_3) & r_6 &= \mathbf{S}(p_4) & r_7 &= \mathbf{S}(p_5) & r_8 &= \mathbf{S}(p_6) \\
 p_7 &= r_5 w_9 + r_7 w_{11} \\
 p_8 &= r_6 w_{10} + r_8 w_{12}
 \end{aligned}$$

Нехай  $E = e_1^2 + e_3^2 = (r_1 - y_1)^2 + (r_3 - y_2)^2 = r_1^2 - 2r_1 y_1 + y_1^2 + r_3^2 - 2r_3 y_2 + y_2^2$ , тоді

$$\frac{\partial E}{\partial y_1} = -2r_1 + 2y_1 = -2(r_1 - y_1) = -2e_1, \quad \frac{\partial E}{\partial y_2} = -2r_3 + 2y_2 = -2(r_3 - y_2) = -2e_3$$



Застосовуючи алгоритм Брендта-Ліна (формули (2.72) та (2.73)), отримаємо:

$$\mathfrak{f}_1 = r_1(F_3 s(-p_3) + g_0);$$

$$\mathfrak{f}_2 = r_1(F_4 s(-p_4) + g_0);$$

$$\mathfrak{f}_3 = r_2(F_4 s(-p_4) + g_0);$$

$$\mathfrak{f}_4 = r_2(F_3 s(-p_3) + g_0);$$

$$\mathfrak{f}_5 = r_3(F_5 s(-p_5) + g_0);$$

$$\mathfrak{f}_6 = r_3(F_6 s(-p_6) + g_0);$$

$$\mathfrak{f}_7 = r_4(F_6 s(-p_6) + g_0);$$

$$\mathfrak{f}_8 = r_4(F_5 s(-p_5) + g_0).$$

$$\text{Тут } F_3 = w_9 \mathfrak{f}_9, F_4 = w_{10} \mathfrak{f}_{10}, F_5 = w_{11} \mathfrak{f}_{11}, F_6 = w_{12} \mathfrak{f}_{12}.$$

Адаптаційне правило для  $w_9, w_{10}, w_{11}, w_{12}$  є більш складним в силу того, що вони зв'язані безпосередньо з агрегатом, яким ми повинні управляти. Згідно з виразом (2.69), якщо  $O_{POST_c}$  порожня, ми отримаємо:

$$\mathfrak{f}_9 = -g_{POST_c} \cdot [u] \cdot r_3 \cdot (-2 \cdot e_1) = g_5 e_1;$$

$$\mathfrak{f}_{10} = -g_{POST_c} \cdot [u] \cdot r_6 \cdot (-2 \cdot e_3) = g_6 e_3;$$

$$\mathfrak{f}_{11} = -g_{POST_c} \cdot [u] \cdot r_7 \cdot (-2 \cdot e_1) = g_7 e_1;$$

$$\mathfrak{f}_{12} = -g_{POST_c} \cdot [u] \cdot r_8 \cdot (-2 \cdot e_3) = g_8 e_3.$$

Тут вважалось, що похідну Фреше можна апроксимувати константою, яку константа  $g$  могла б поглинути (це дозволило перейти до виразу після другої рівності). Константу  $g$  прийнято називати швидкістю адаптації або швидкістю навчання. Вона може змінюватись для аналізу швидкості адаптації нейромережевого контролера.

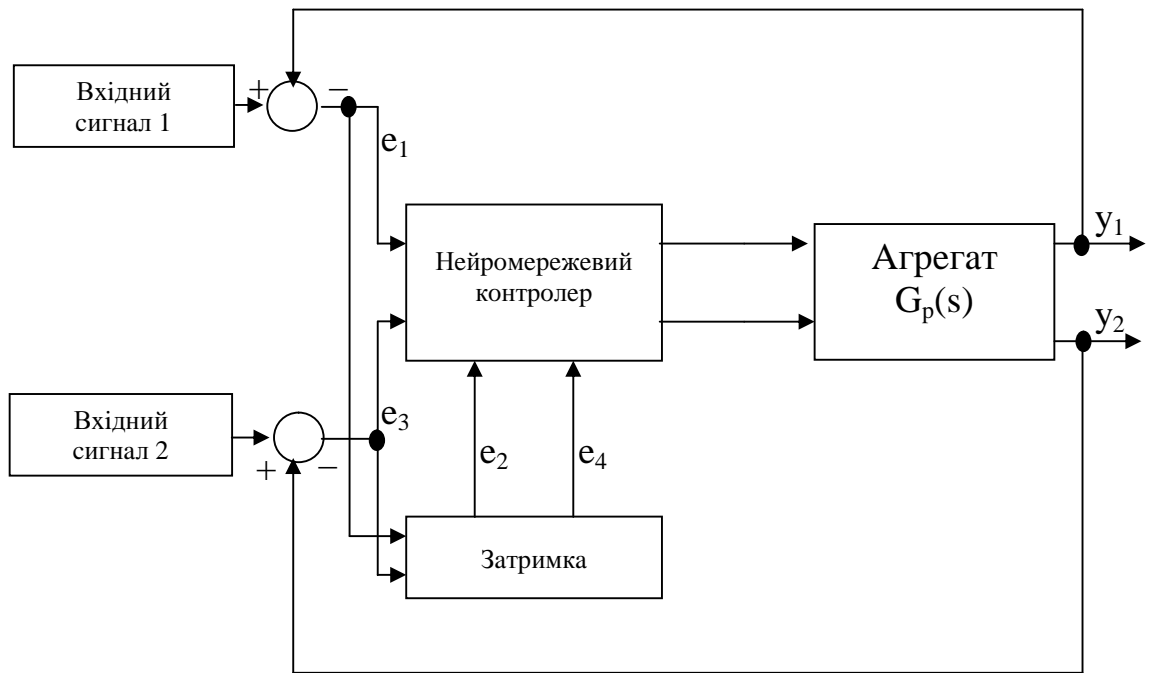


Рисунок 2.12 – Система управління на основі НМ

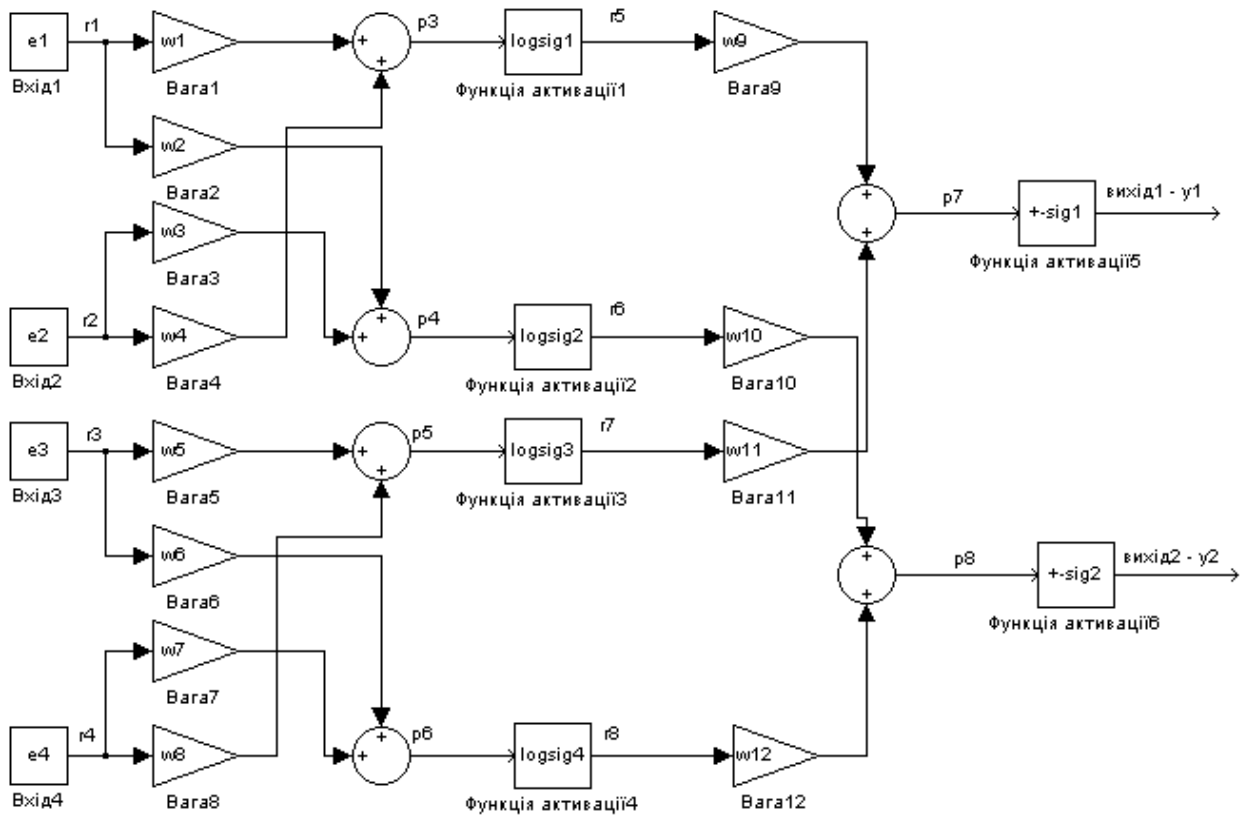


Рисунок 2.13 – Конфігурація адаптивного НМК

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Технологія автоматизованого керування

В історії розвитку ТАУ чітко виділяються три етапи. По класифікації, першим був етап класичної детермінованої ТАУ. У цей період основними задачами керування були задача стійкості і задача про якість перехідних процесів. Це – етап класичної стохастичної теорії автоматичного регулювання. Він характеризується новою постановкою основної задачі теорії керування: врахувати випадкові збурення, що діють на систему, і забезпечити гарну роботу в умовах постійно діючих завад [1].

Для рішення задачі до основного контуру в систему керування вводиться контур адаптації (рис. 3.1).

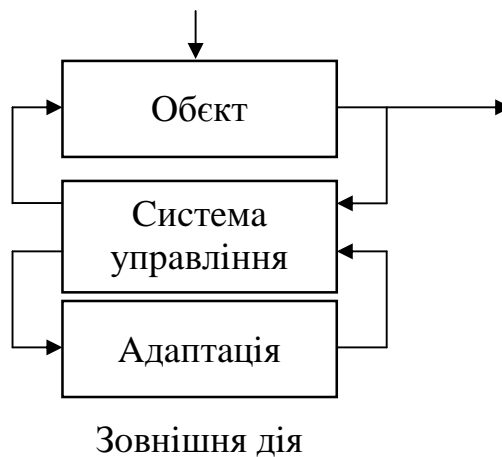


Рисунок 3.1 – Загальна схема адаптивної системи керування

У системах керування НМ можуть застосовуватися у виді:

– нейроконтроллерів;

– нейроемуляторів, які імітують динамічне поводження об'єкта керування в цілому чи його окремих характеристик, що важко піддаються математичному моделюванню (наприклад, фрикційні ефекти і т.п.).

На рисунку 3.2 показана схема використання нейроконтролера для управління об'єктом по командам  $U_3(k)$  в дискретні моменти часу [1].

Саме навчання нейроконтролера безпосередньо по вхідним та вихідним даним може бути представлено за допомогою схем, представлених на рисунках 3.3, 3.4.

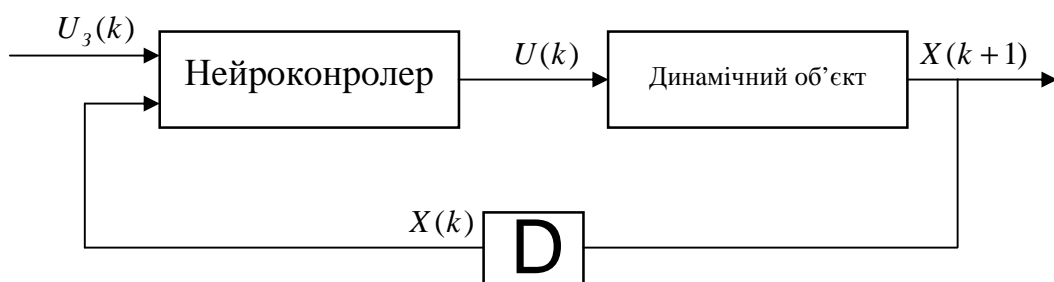


Рисунок 3.2 – Управління об'єктом за допомогою нейроконтролера

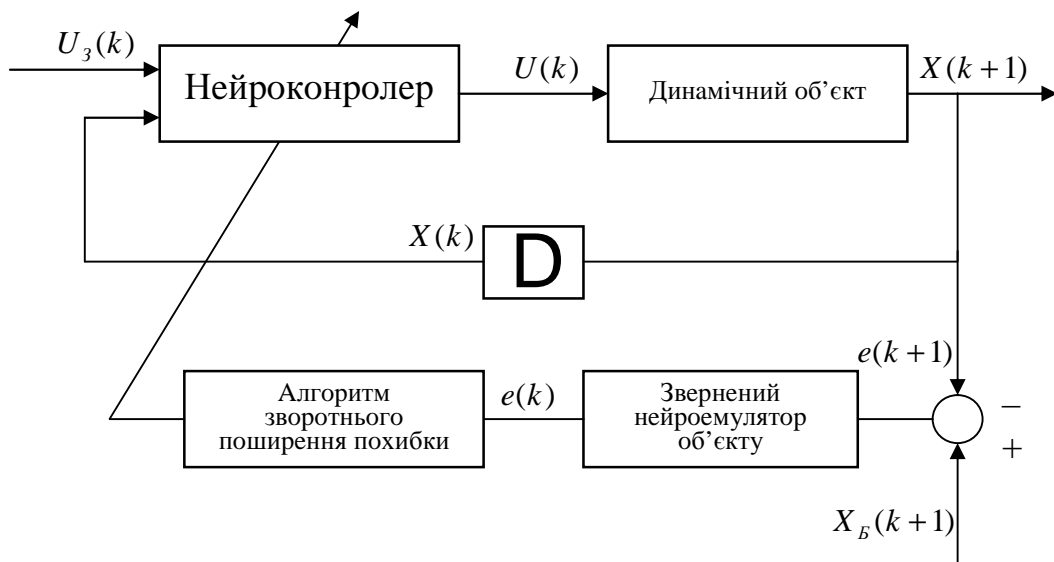


Рисунок 3.3 – Схеми навчання нейроконтролера за допомогою алгоритму зворотнього поширення похибки

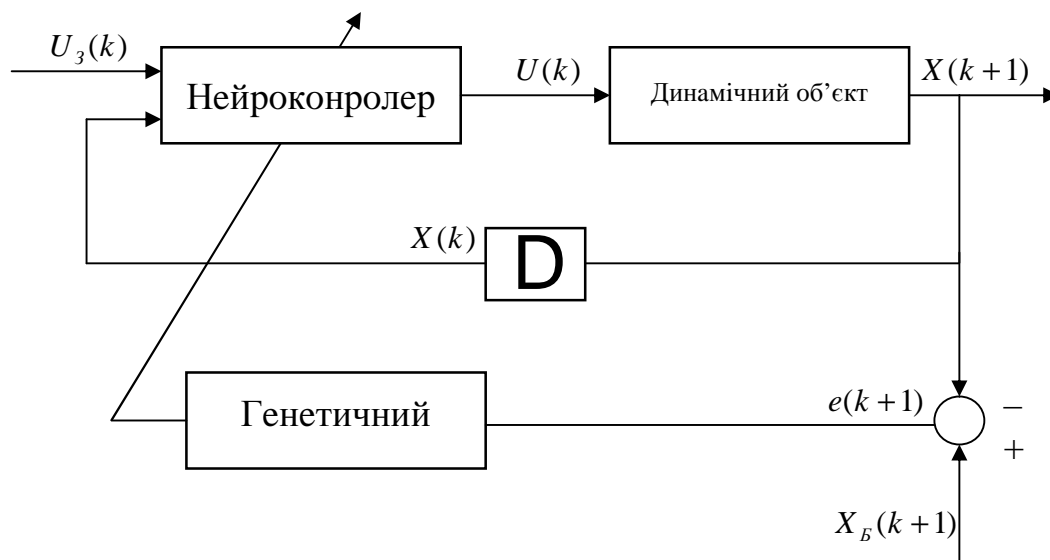


Рисунок 3.4 – Схеми навчання нейроконтролера за допомогою генетичного алгоритму

Мета навчання – надання нейроконтролеру властивостей виробляти послідовності управляючих впливів  $U(k)$ , що переводять об'єкт від невизначеного початкового стану в заданий кінцевий за кінцеву кількість кроків. Алгоритм зворотнього поширення похибки цілком підходить до цього, але він вимагає інформації про похибку на вихідному шарі НМ.

Для отримання такої інформації в схемі 3.4 передбачений звернений нейроемулятор об'єкта, за допомогою якого виділяється еквівалентна похибка, що відповідає похибці на вході об'єкта. Іншими словами, його роль зводиться до перетворення похибки на виході об'єкта в вихідний сигнал на виході нейроконтролера. Після одноразового навчання нейроконтролера вся процедура повторюється для випадково вибраного початкового стану знову і знову доки параметри мережі не зійдуться до значень, що задовольняють любій початковій умові.

Одним з недоліків алгоритму зворотнього поширення похибки є те, що по всій своїй суті він являється локально оптимізуючою процедурою. Разом з тим, похибка, що обчислюється за цим методом, що використовується як оцінка якості НМ, являється, в силу достатньо великої кількості обчислюваних

параметрів мережі, багатоекстремальною функцією параметрів мережі, тому для пошуку її мінімуму потрібний, відповідно, глобальний метод. На сьогодні тренування (навчання) НМ здійснюється за допомогою генетичних алгоритмів (ГА) – ефективних методів глобальної оптимізації, що використовують природні механізми рекомбінування генетичної інформації, забезпечуючи при цьому адаптаційні перебудови всередині популяції. Поєднання цих двох обчислювальних технологій (НМ та ГА) розглядається сьогодні як потенційне джерело майбутнього прогресу в сфері еволюційного моделювання. Крім властивої йому глобальності, ГА, як тренувальна процедура, володіє тією перевагою в порівнянні з алгоритмом зворотнього поширення похибки, що він здатний тренувати нейроконтроллер зразу по вихідним характеристикам об'єкта, як це показано на рисунку 3.4. Проте, ГА не єдиний ефективний метод навчання. Як буде показано, в деяких випадках можливо обійтися і більш простим методом адаптації, не втрачаючи при цьому на ефективності його роботи [1].

В даній випускній роботі ми пропонуємо підхід до адаптивних нейромереж використовуючи новий адаптивний алгоритм. Алгоритм виник з теорії адаптивної взаємодії. Принципи алгоритму адаптації, які тут викладені, є простими, але являються ефективною методологією щодо виконання оптимізації градієнтним спуском в параметричному просторі. Неподібний на підхід, заснований на алгоритмі зворотнього поширення похибки, цей підхід не буде потребувати еталон моделі (для отримання еквівалентної похибки), який повинен би був представлений в нейромережевому еквіваленті, що є основною перешкодою в ранніх підходах. Використовуючи цей алгоритм, подібна обробка (як алгоритм зворотнього поширення похибки) досягається без потреби зворотнього поширення похибки через зворотній зв'язок мережі. Ця важлива характеристика робить можливим адаптувати нейромережевий контроллер безпосередньо, зразу.

Актуальність питання підтверджено тим, що НМ гарно зарекомендували себе при вирішенні задачі усунення фрикційних автоколиваний в

електромеханічних системах з нелінійним навантаженням типу пара тертя. В одномасовій і особливо в двомасовій системах з гнучкою кінематичною ланкою такі коливання можуть виникати при перебуванні робочої точки на “падаючій” ділянці характеристики тертя.

## 3.2 Використання нейромереж в управлінні

### 3.2.1 Структурна схема одномасової системи з нейроконтроллером

Структурна схема одномасової системи з нейроконтроллером і нелінійним навантаженням типу пара тертя представлена на рисунку 3.5 [1].

Застосування нейроконтроллера (НК) дозволяє вирішити поставлену задачу використовуючи один зворотній зв'язок по легко визначеній координаті, причому, крім стійкості, забезпечити потрібне обмеження по координатам електроприводу та якості перехідних процесів. Суть синтезу НК заключається у визначенні значень зсувів і вагових коефіцієнтів нейронів вхідного, прихованого та вихідного шарів. Першочергово, в довільній формі, були задані діапазони зміни параметрів мережі в діапазоні  $[-0,5; +0,5]$ , а також встановлений вихідний розмір популяції, тобто сполучень значень параметрів НМ.

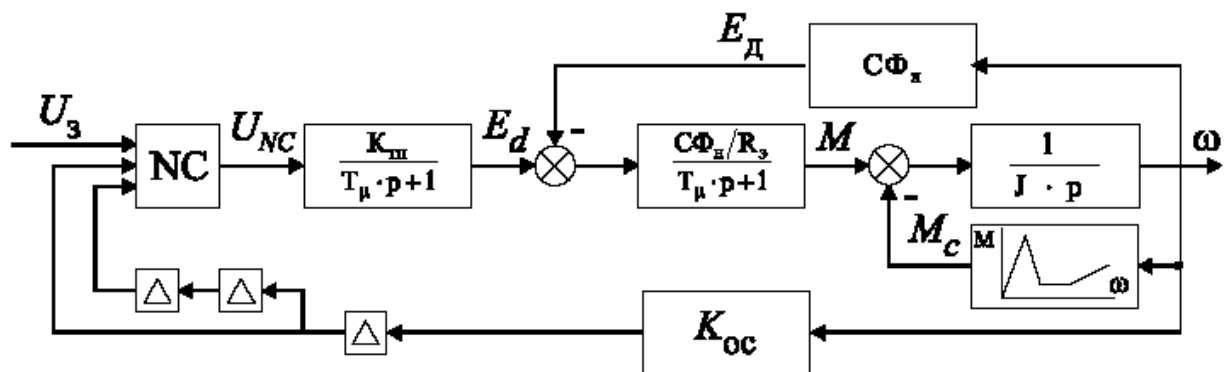


Рисунок 3.5 – Структурна схема електроприводу з нейроконтроллером і навантаженням типу пара тертя

Значення вищі за вказані вибираються таким чином, щоб при наступному виборі сполучень значень вагових коефіцієнтів і зсувів нейронів забезпечити достатньо більше число варіантів цих сполучень (“осіб”), серед яких замкнений оптимальний чи близький до нього варіант. Кожне сполучення значень вагових коефіцієнтів визначалось стохастично, за допомогою комп’ютера по спеціально розробленій програмі. Після підбору вихідних значень вагових коефіцієнтів були промодельовані режими досліджуваної системи і відібрані “батьки” для знаходження наступних варіантів сполучень значень вагових коефіцієнтів (“нащадків”), що забезпечують кращі динамічні показники в порівнянні з іншими варіантами. Критерієм відбору “нащадків” була належність до найменших значень інтегралу середньоквадратичної похибки за 10 с перехідного процесу. При отриманні нових, взятих до розгляду варіантів вагових значень, використовувались генетичні оператори: кросовер, мутація та інверсія. Надалі, процес відбору “нащадків”, що забезпечують найкращі динамічні показники, багаторазово повторювався по згаданому вище алгоритму.

В результаті була отримана стійка система, перехідний процес якої представлений на рисунку 3.6,б. Як видно із наведеної діаграми, автоколивальний режим усунений, а динамічні показники якості достатньо прийнятні. Для порівняння на рисунку 3.6,а приведений перехідний процес в системі без нейроконтроллера.

### **3.2.2 Управління двохмасовою електромеханічною системою**

Оскільки найбільше часто наслідки фрикційних автоколивань виявляються у виді полумок кінематичних ланок, розрахункова схема яких може бути представлена у виді двохмасової системи з пружним кінематичним зв'язком, то було розглянуто задачу побудови НМ системи керування саме для такого класу електромеханічних систем.



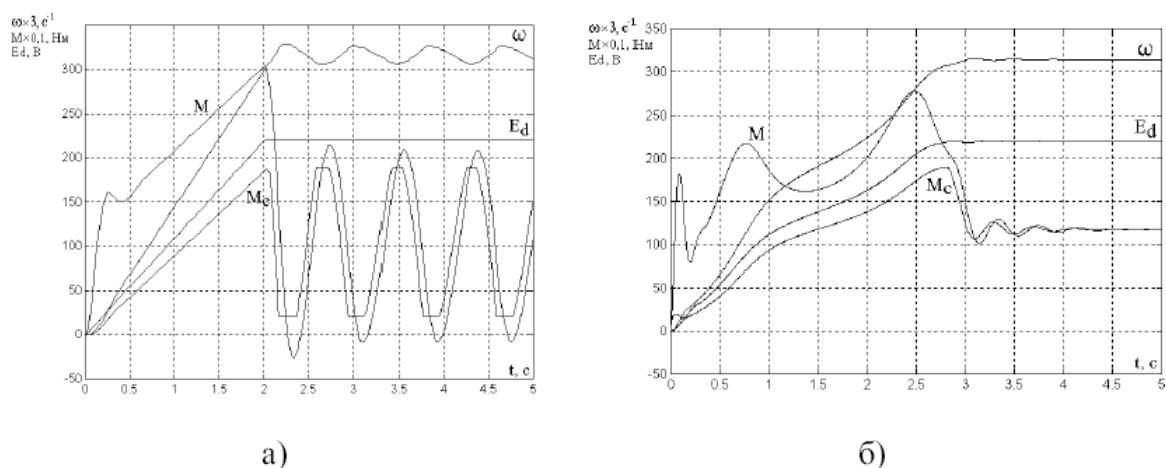


Рисунок 3.6 – Перехідні процеси

- а) – розімкнута одномасова електромеханічна система;  
 б) система з НМК;

Розглянемо двохмасову електромеханічну систему з нейроконтроллером, структурна схема якої в узагальнених параметрах представлена на рисунку 3.7.

Тут  $p^* = p \times W_{1,2}$  – безрозмірний оператор диференціювання,  $g = \frac{J_1 + J_2}{J_1}$  –

коефіцієнт інерції системи,  $T_{m_1}^* = \frac{J_1}{b} \times W_{1,2}$  – безрозмірна електромеханічна

постійна часу,  $n = \frac{W_{1,2}^2}{W_{em}^2}$  – відношення квадратів частот не демпфованого механічного резонансу й електромеханічного резонансу,  $b$  – відношення твердості механічної характеристики навантаження до модуля твердості механічної характеристики електродвигуна. Даний набір відносних, безрозмірних параметрів, цілком характеризують динамічні властивості описуваної системи.

Перевагою такої форми представлення моделі систем, у порівнянні з традиційної, є можливість одержати закони керування для об'єктів з різними значеннями фізичних параметрів.

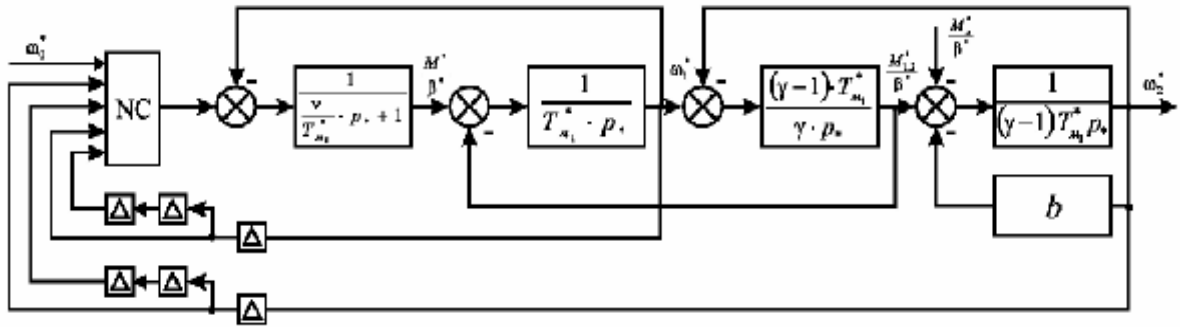


Рисунок 3.7 – Структурна схема двохмасової електромеханічної системи з негативним в'язким тертям в узагальнених параметрах

Рішення задачі усунення фрикційних автоколивань і забезпечення заданих показників якості регулювання за допомогою НМ керування проілюструємо на прикладі системи з параметрами  $T_{m1}^* = 8$ ,  $g = 1.1$ ,  $n = 0.9$ ,  $b = -0.2$ . Був виконаний нейроконтроллер на базі тришарової прямонаправленої мережі типу багат шаровий перцептрон з тангенціальними активаційними функціями нейронів схованого шару і лінійними вхідними і вихідними нейронами. Спроба рішення задачі синтезу НМ системи керування в рамках схеми з одним зворотним зв'язком по швидкості останньої маси, що використовувалася для одномасових електромеханічних систем, виявилася невдалою. Особливістю даної двохмасової електромеханічної системи є її нестійкість у розімкнутому стані при будь-яких керуючих сигналах, на відміну від одномасової моделі, розглянутої вище, що при деяких вхідних сигналах була стійкою. Тому, ні при яких варіантах розміру схованого шару нейроконтроллера і кількостях затримок зворотного зв'язку систему керування не вдалося зробити стійкою.

Унаслідок вище сказаного, для рішення поставленої задачі було запропоновано ввести в НМ систему керування два зворотні зв'язки по швидкості першої і другої маси. Завдяки цьому, НК одержує інформацію, що дозволяє йому виявляти й усунути фрикційні автоколивання швидкості і моменту. По кожному зворотному зв'язку були введені два елементи затримки. Таким чином, на вхідний шар нейроконтроллера, що складається з 5 нейронів,

надходять сигнал завдання і чотири значення сигналів зворотних зв'язків у дискретні моменти часу. Розмір схованого шару нейроконтролера був обраний рівним 10 нейронам, вихідний шар складається з одного нейрона, що видає сигнал керування електромеханічною системою.

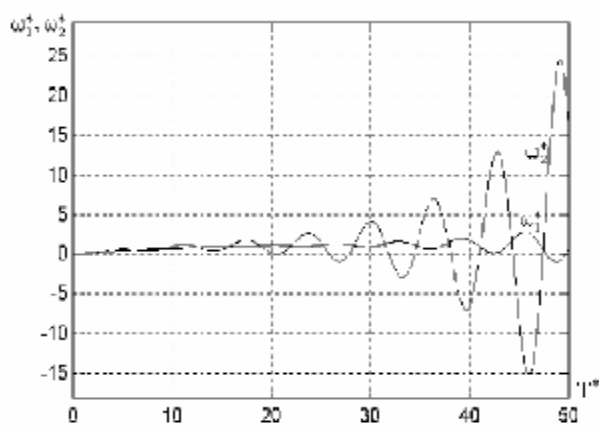
Робочий діапазон вхідних сигналів НМ системи керування дорівнює  $[-1, +1]$ , тому для синтезу нейроконтролера використовувалися стрибкоподібні сигнали амплітуд  $-1, -0,5, 0, 0,5, 1$ . Синтез нейроконтролера виконувався за допомогою генетичного алгоритму в процесі мінімізації інтегрального критерію якості  $F$ :

$$F = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \int_0^{t_p} \left( \ddot{e}_j + \frac{k}{|e_j| + \varepsilon} \frac{de_j}{dt} \right)^2 dt$$

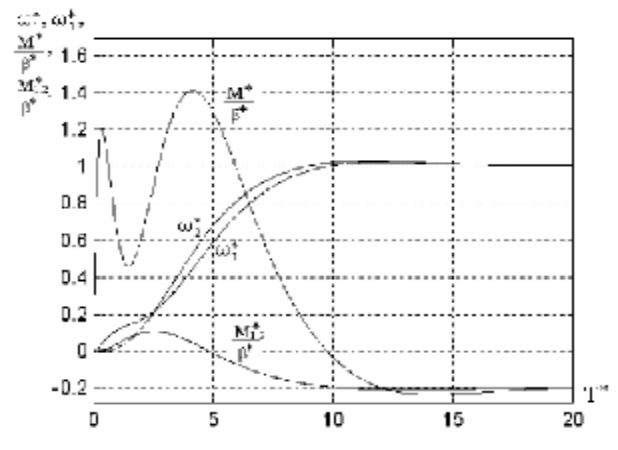
$$e_j = ((w_3)_j - w_2)^2 t^2, \quad (3.6)$$

де  $e$  – помилка по вихідній координаті;  $N$  – кількість тестових сигналів;  $t_p$  – час перехідного процесу;  $\varepsilon$  — мала позитивна постійна, прийнята 0,01;  $(w_3)_j$  –  $j$ -й тестовий сигнал (завдання на швидкість);  $w_2$  – швидкість другої маси;  $k$  – масштабний коефіцієнт, що лежить у межах 10 – 1000. На рисунку 3.8,б представлений перехідний процес у вищеописаній електромеханічній системі. Для порівняння на рисунку 3.8,а представлений перехідний процес у розімкнутій системі, тобто без нейроконтролера.

Результати виконаних досліджень показують, що за допомогою НМ у рамках розробленої методики синтезу НМ систем керування вдається вирішувати задачу усунення пружних фрикційних автоколивань у двохмасовій електромеханічній системі з навантаженням типу пари тертя.



а)



б)

Рисунок 3.8 - Перехідні процеси

а) двох масова електромеханічна система;

б) система з нейроконтролером.

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Дослідження нейроконтролера

На рисунку 4.1 представлена схема системи управління, об'єкту управління та зв'язків між ними.

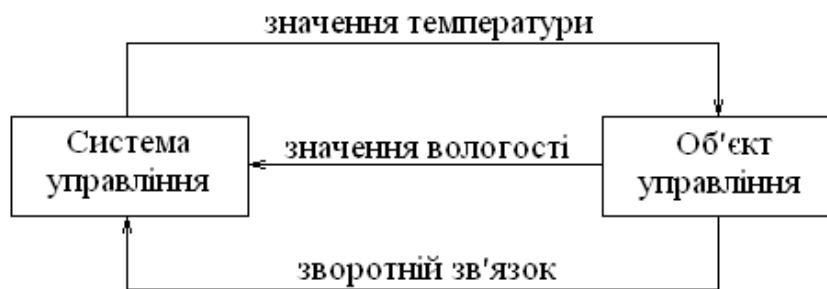


Рисунок 4.1 – Система та об'єкт управління

#### 4.1.1 Середовище дослідження

Для дослідження системи було обрано програмний пакет «MATLAB». «MATLAB» – мова для проведення досліджень та математичних розрахунків. Він здійснює: програмування, обчислення і візуалізацію розв'язків математичних задач.

«MATLAB» – система, у якій масив є основним елементом даних. Це дає можливість вирішувати різноманітні задачі, зв'язані з швидкими технічними обчисленнями.

Для дослідження систем автоматичного управління за допомогою «MATLAB» використано програмний пакет SIMULINK та «CONTROL SYSTEM TOOLBOX».

SIMULINK – система для дослідження нелінійних динамічних систем. Представляє собою візуальне середовище, кероване мишкою, яке дозволяє

моделювати процес шляхом перетягування блоків діаграм на екрані та їх маніпуляцією. SIMULINK дозволяє працювати з лінійними і нелінійними, неперервними і дискретними, та багатомірними системами.

«CONTROL SYSTEM TOOLBOX» – колекція алгоритмів MATLAB для моделювання, аналізу та проектування автоматизованих систем управління. Функції пакету включають найбільш традиційні методи передатних функцій і сучасні методи простору станів. Пакет дозволяє моделювати і аналізувати як неперервні, так і дискретні системи.

#### **4.1.2 Дослідження системи в «CONTROL SYSTEM TOOLBOX»**

При використанні цього пакету ми задаємо систему у вигляді векторів значень стану, і після цього, за допомогою команд отримуємо результати дослідження системи: графік залежності похибки від кількості ітерацій, регресійний аналіз та графік результату навчання мережі.

Програма для системи MATLAB, складена на основі отриманих даних про об'єкт, і представлена в додатку А. Результати аналізу представлені на рисунках 4.2, 4.3, 4.4.

Після аналізу отриманих характеристик бачимо, що система є стійкою.

#### **4.2 Дослідження системи в SIMULINK**

Використання цього пакету приваблює простотою створення моделей автоматичних систем – у пакет входить велика бібліотека блоків, яка дозволяє легко створювати моделі. Результати моделювання відображаються у процесі роботи.

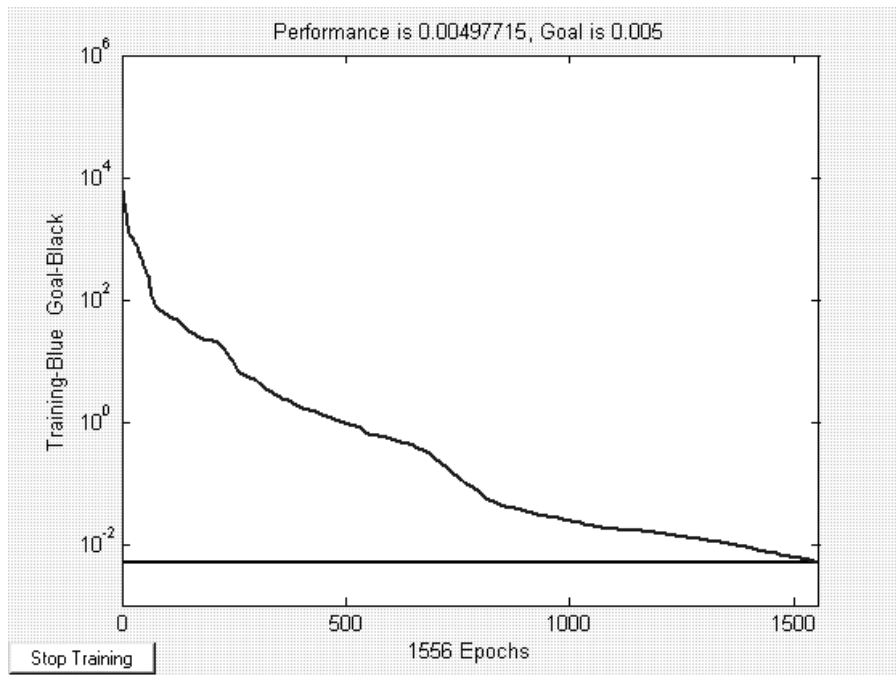


Рисунок 4.2 – Залежність похибки від кількості ітерацій

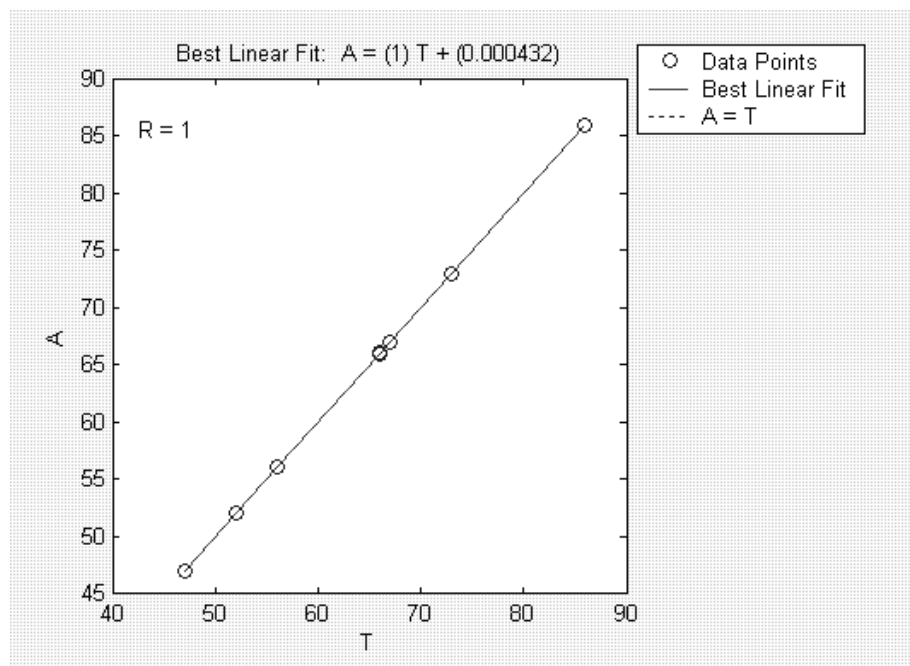


Рисунок 4.3 – Регресійний аналіз

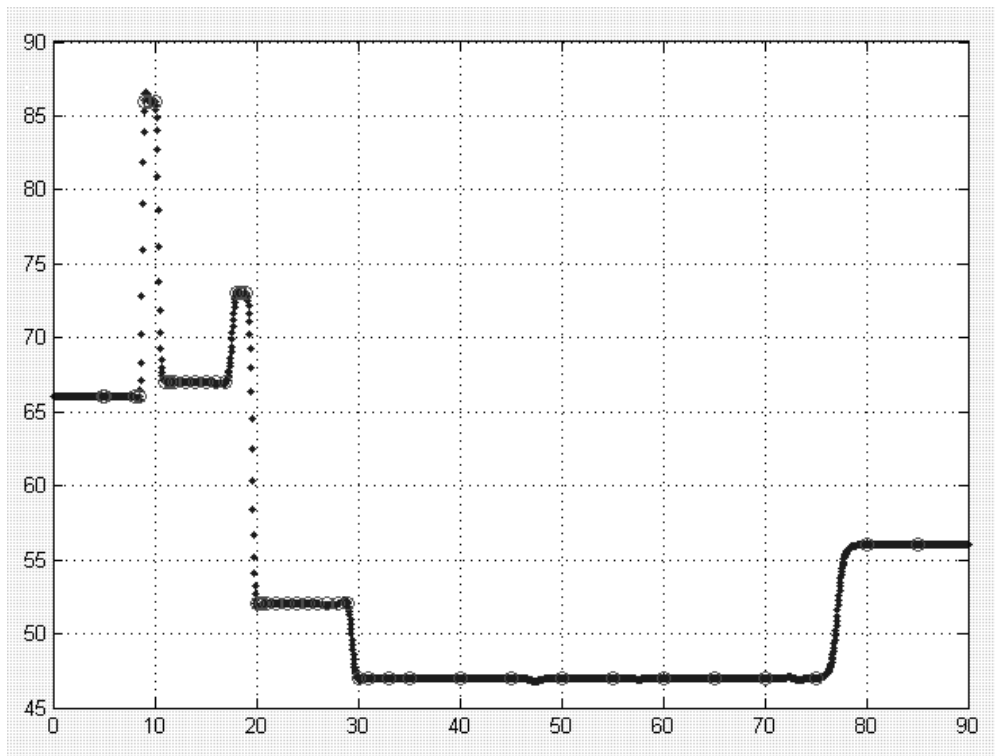


Рисунок 4.4 – Результат навчання мережі

Побудована модель багатовимірної САУ представлена на рисунку 4.4.

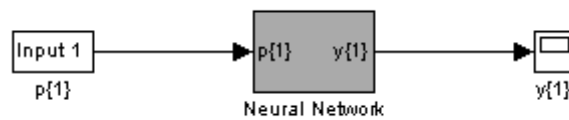


Рисунок 4.5 – Модель системи у SIMULINK

Як видно з рисунку 4.6 блок Neural Network складається з декількох підсистем. На рисунках з 4.7 4.8 та 4.9 відповідно наведені підсистеми шару 1.



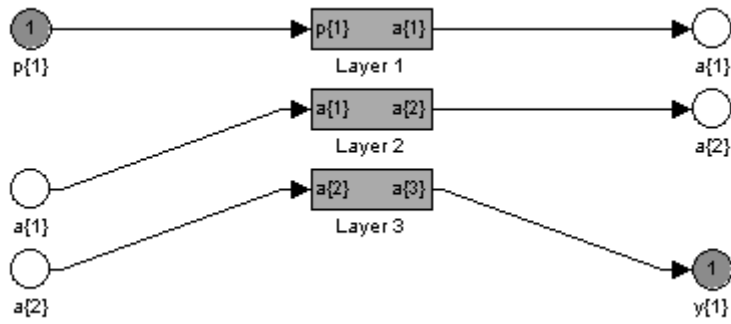


Рисунок 4.6 – Підсистема блоку Neural Network

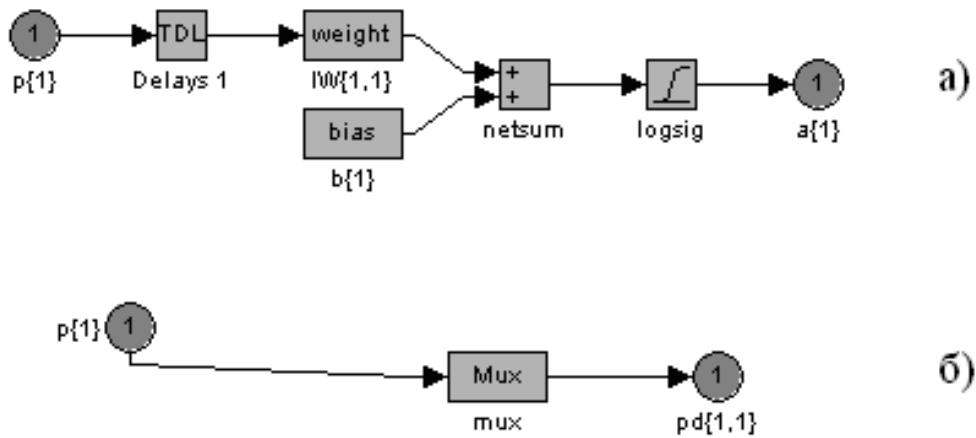


Рисунок 4.7 – Підсистеми першого шару

- а) «підсистема блоку Layer 1»;
- б) «підсистема блоку Delays 1 TDL».

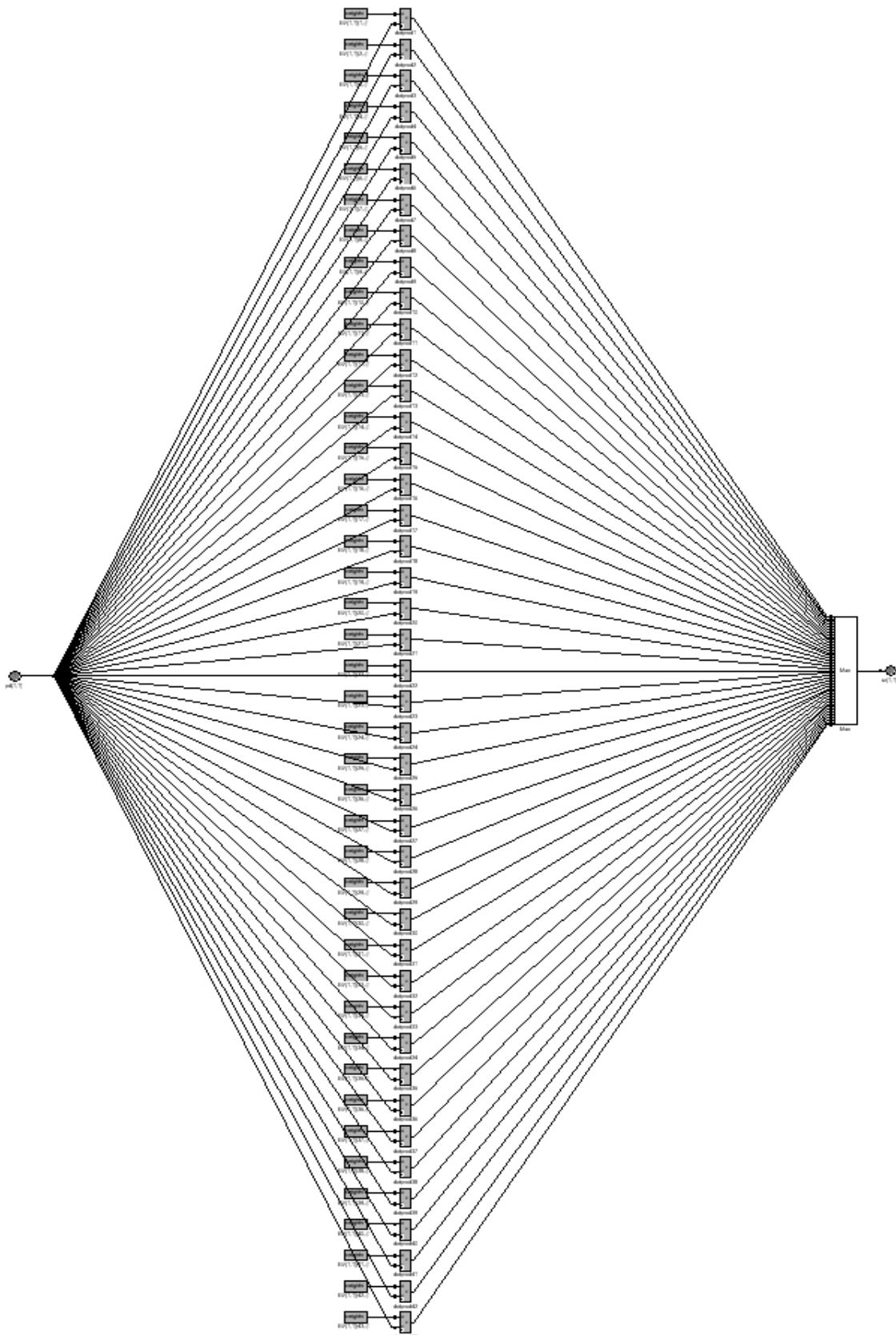


Рисунок 4.8 – Підсистема блоку weight IW{1,1}

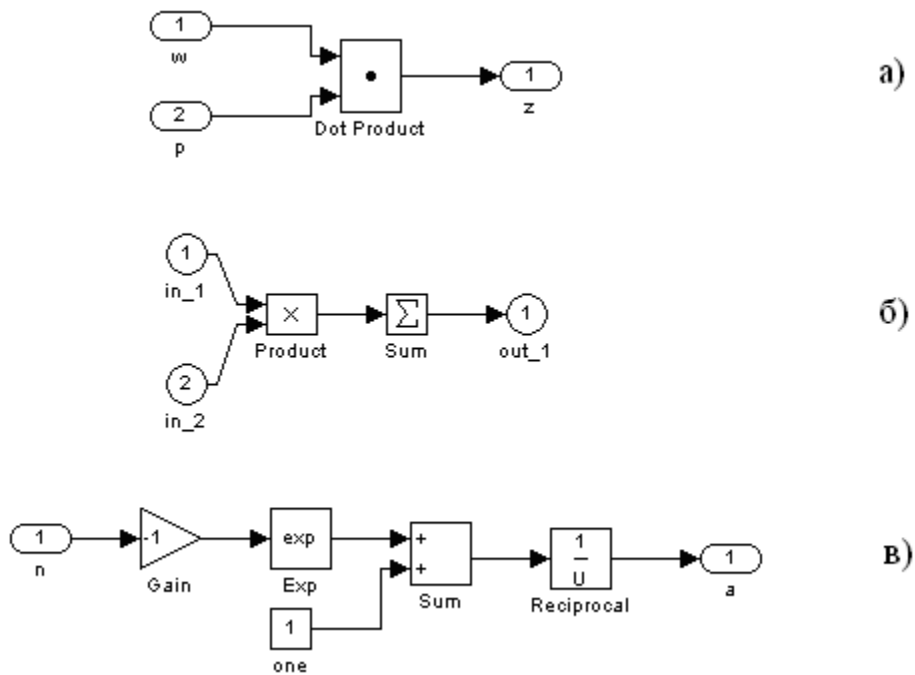


Рисунок 4.9 – Підсистеми блоків «dotprod, Dot Product та logsig»:

- а) «підсистема блоку dotprod»;
- б) «підсистема блоку Dot Product»;
- в) «підсистема блоку logsig»

З рисунка 4.6 - нейромережа має 3 шари нейронів, в свою чергу кожен з них має в собі підсистеми. На рисунках 4.10, 4.11 та 4.12 показані підсистеми шару 2.

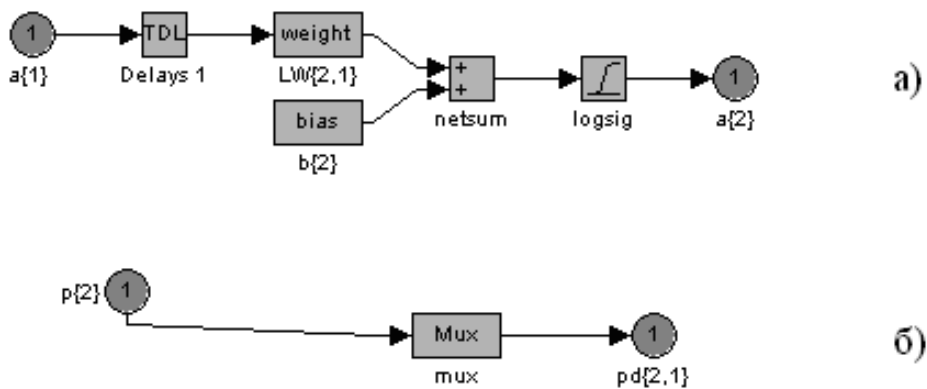


Рисунок 4.10 – Підсистеми другого шару

- а) «підсистема блоку Layer 2»;
- б) «підсистема блоку Delays 1 TDL».

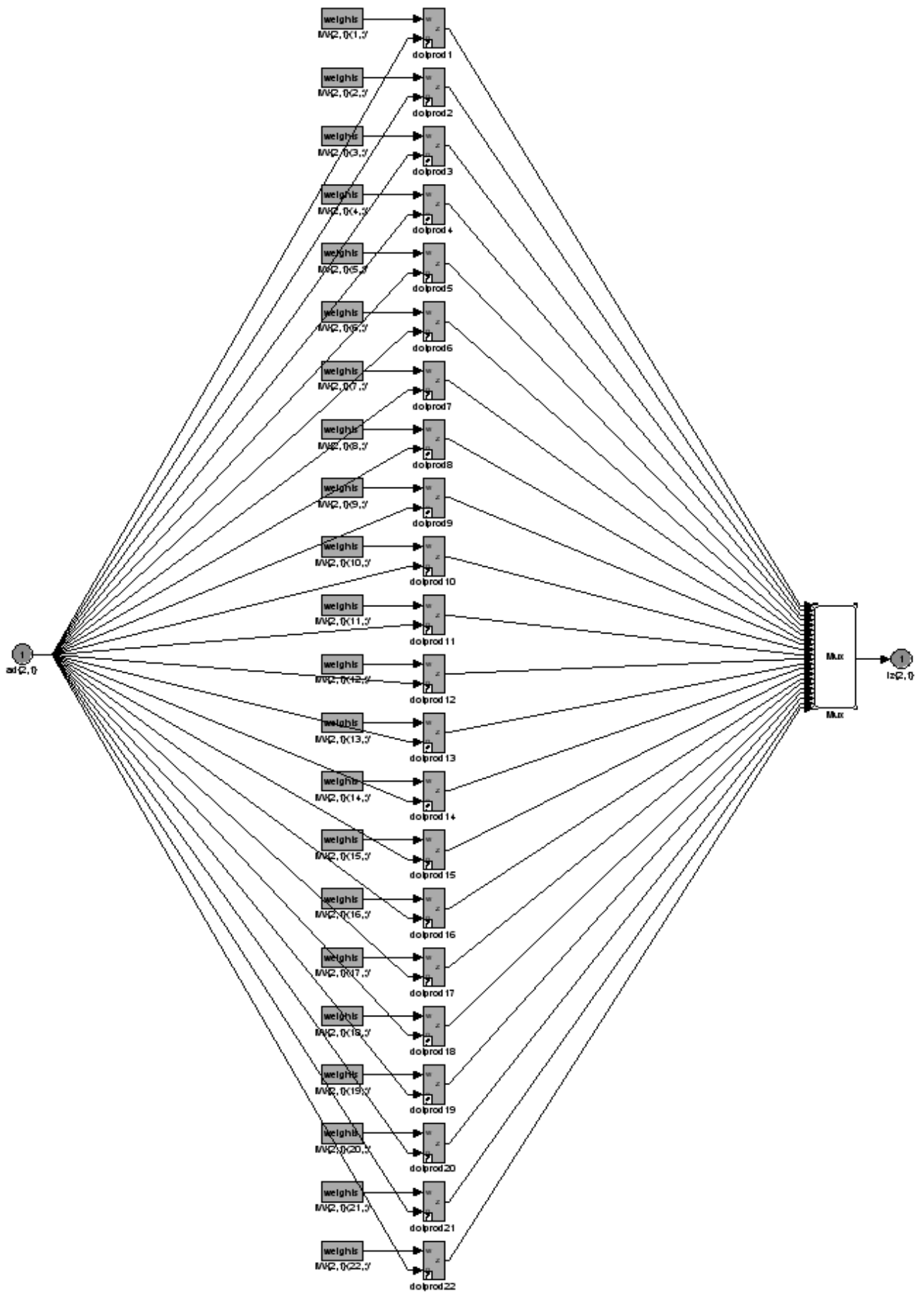


Рисунок 4.11 – Підсистема блоку weight LW{2,1}

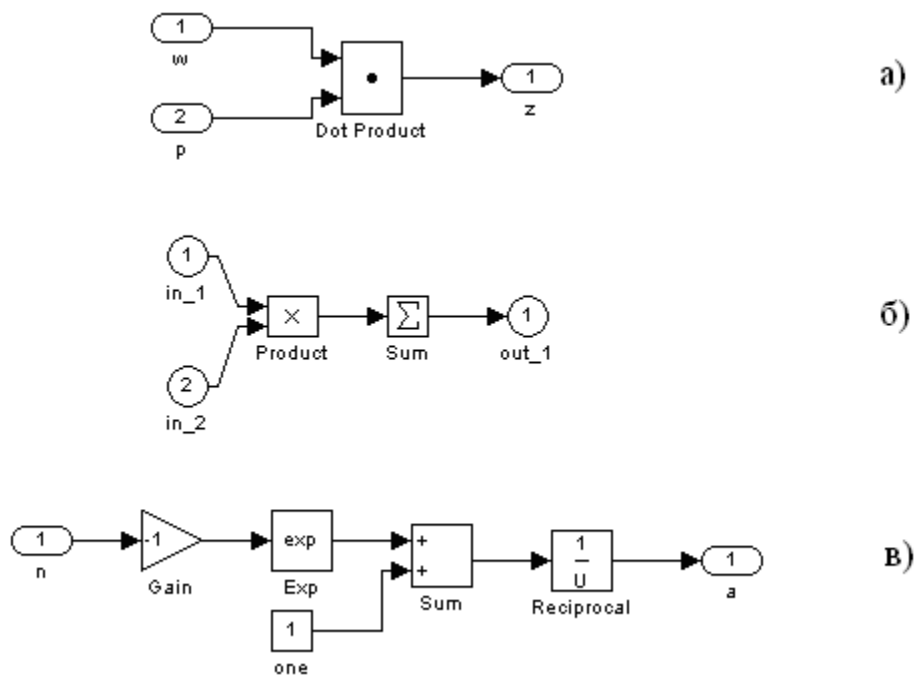


Рисунок 4.12 – Підсистеми блоків «dotprod, Dot Product та logsig»:

- а) «підсистема блоку dotprod»;
- б) «підсистема блоку Dot Product»;
- в) «підсистема блоку logsig».

На рисунках 4.13 та 4.14 відповідно представлені підсистеми шару 3.

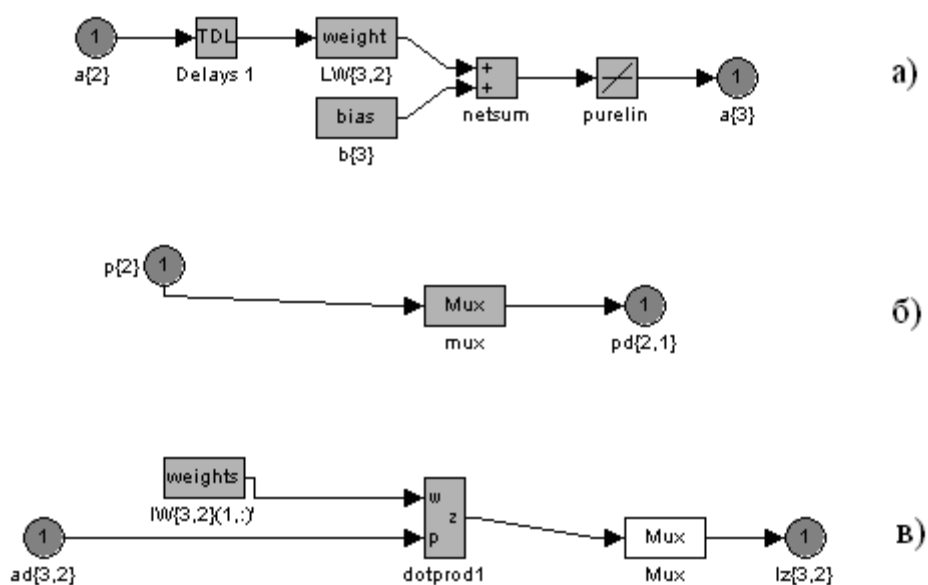


Рисунок 4.13 – Підсистеми третього шару

- а) підсистема блоку Layer 3

б) підсистема блоку Delays 1 TDL

в) підсистема блоку weight LW{3,2}

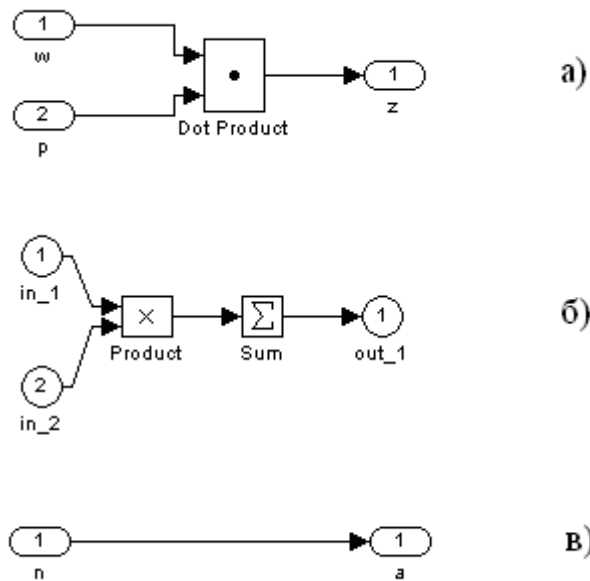


Рисунок 4.14 – Підсистеми блоків dotprod, Dot Product та purelin

а) підсистема блоку dotprod

б) підсистема блоку Dot Product

в) Підсистема блоку purelin

Подамо на вхід системи значення вологості рисунок 4.15, щоб перевірити якість навчання мережі. В тексті програми ми вказали значення вологості деревини, які можуть бути подані на вхід системи, і відповідно значення температури, які має встановити мережа відносно вхідних значень, тобто був сформований вхідний вектор та вектор правильних відповідей для навчання мережі. Також було вказано значення похибки навчання, тобто наша мережа буде вчитися доти, доки не буде відтворювати значення температури відносно вологості до вказаного значення, в нашому випадку 0,005. Під час написання програми було враховано потрібну кількість ітерацій, щоб нейромережа не закінчила навчання швидше, не дійшовши до зданого значення похибки. При вхідному значенні вологості 35 мережа має встановити на виході температуру 47, що можна побачити на рисунку 4.16.

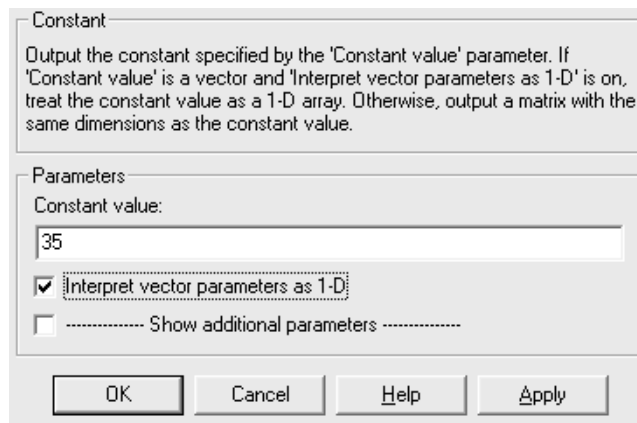


Рисунок 4.15 – Значення вологості на вході системи

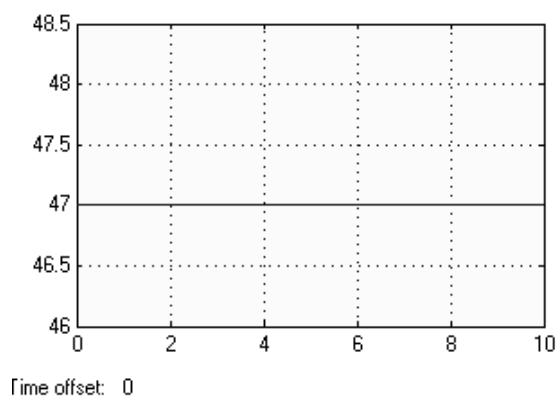


Рисунок 4.16 – Значення температури на виході системи

Судячи з рисунків 4.15 та 4.16 ми бачимо, що система встановлює правильне значення температури на виході відносно значення вологості на вході. Також в системі немає запізнення по часу (що безумовно є добрим показником для високоточних режимів сушіння деревини), та коливань. Система відразу встановлює потрібне значення температури, і підтримує його доти, доки не зміниться вхідне значення вологості.

### 4.3 Дослідження системи в SIMULINK на збурення

Подаємо на вхід системи незначне збурення і спостерігаємо залежність виходу від входу. Збуренням в нашому випадку виступатиме випадковий

сигнал, із значенням 35 (значення вхідної вологості), розкидом 35, та швидкістю зміни – 0,05 с. рисунок 4.18 Вибір діапазону ґрунтувався на тій думці, щоб заглушити повністю вхідний сигнал (корисний). Результати представлені на рис. 4.19, 4.20. Сама система представлена на рисунку 4.17.

З графіків видно – система не є заводозахищеною. Але навіть таке значне збурення по входу не виводить її з робочого режиму.

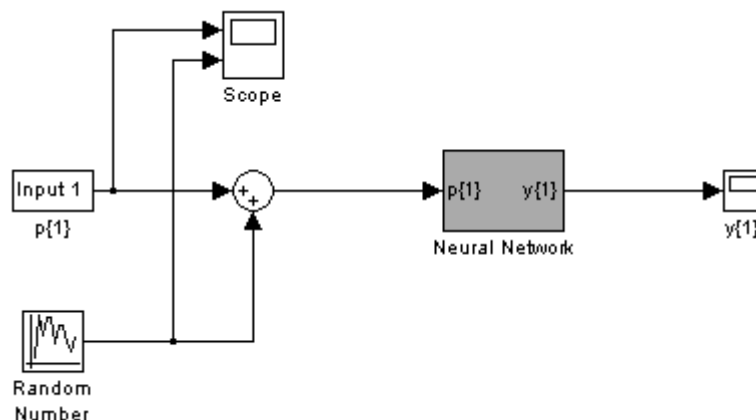


Рисунок 4.17 – Система зі збуренням

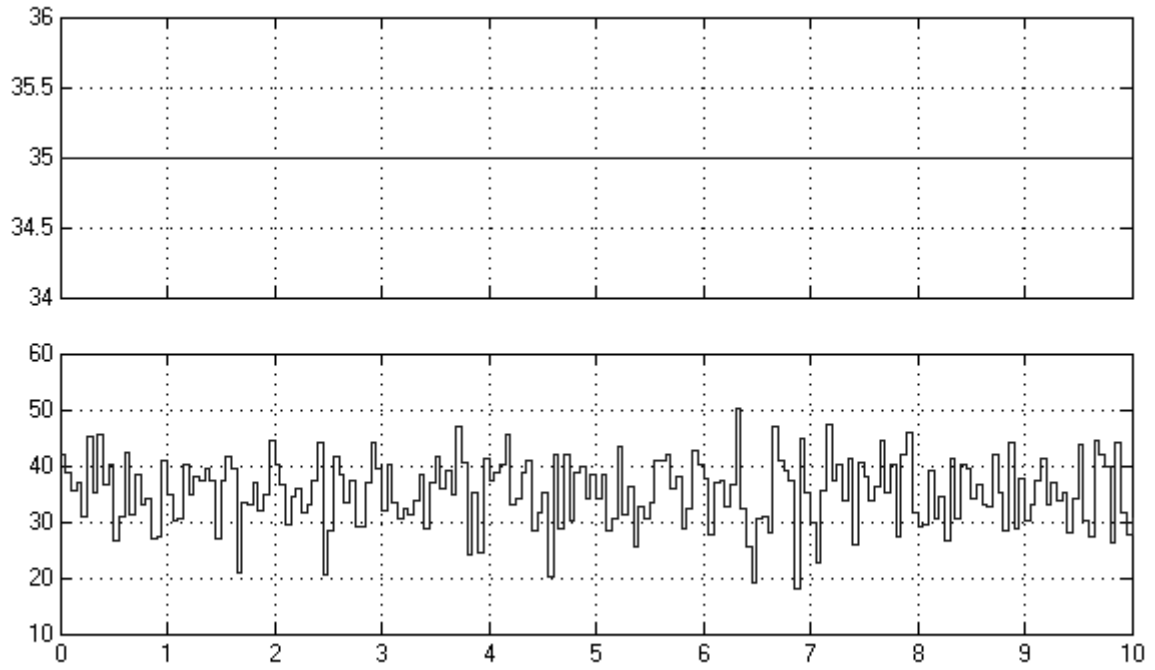
The dialog box is titled 'Parameters' and contains the following fields and options:

- Mean: 35
- Variance: 35
- Initial seed: 0.5
- Sample time: 0.05
- Interpret vector parameters as 1-D

Buttons at the bottom: OK, Cancel, Help, Apply.

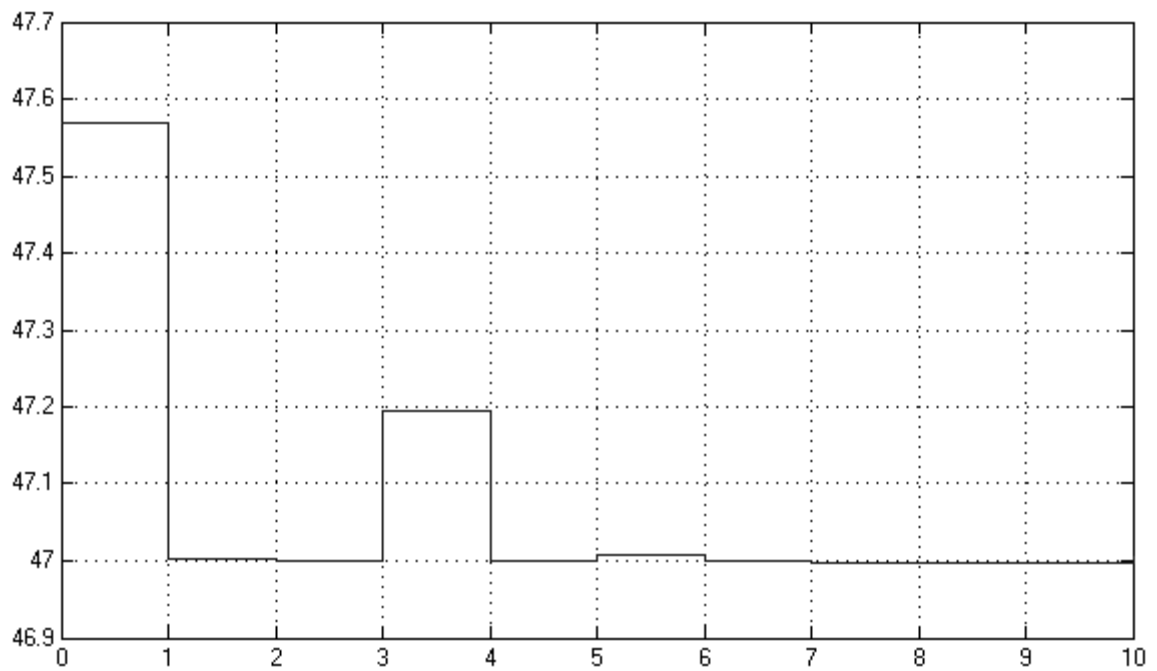
Рисунок 4.18 – Значення параметрів збурення





Time offset: 0

Рисунок 4.19 – Корисний сигнал та збурення



Time offset: 0

Рисунок 4.20 – Реакція системи на збурення

## 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 4.1 Вибір системи керування лісосушильними камерами

Автоматизована система керування лісосушильними камерами – це комплексна автоматизована система, яка побудована на базі сучасної універсальної системи автоматизації фірми SIEMENS SIMATIC C7 і комп'ютера, що в цілому виконують функції вимірювання, контролю, автоматичного керування, візуалізації та архівування подій і параметрів процесу сушіння деревини різних порід в лісосушильних камерах (далі по тексту - сушарка) періодичної дії.

За своєю суттю система представляє собою керуючий комплекс зі заданою структурою, вільні параметри якої налаштовуються згідно з характеристиками деревини і конструктивними параметрами сушарки, тобто, система реалізує принцип детермінованого регулятора з параметричною оптимізацією.

Система визначає момент переключення попередньо заданих раціональних режимних параметрів агента сушіння залежно від зміни вологості деревини, яку визначають за допомогою вимірювача вологості ИВ-3 УкрНДІМОД або автоматично на підставі моделювання процесу кінетики сушіння деревини в штабелях, а в проміжках між цими моментами стабілізує режимні параметри за стандартним ПІД-законом регулювання.

До складу системи входять два програмовані пристрої: контролер SIMATIC C7 з пристроєм людино-машинного інтерфейсу і операторська станція на базі сучасного комп'ютера і відеотерміналу, програмне забезпечення яких є відкритим і дозволяє вносити необхідні зміни.

Система виконує автоматичне керування всім циклом сушіння деревини, починаючи з моменту завантаження штабелів деревини в камеру і закінчуючи технологічною операцією витримки деревини в камері.

Система включає в себе керування електроприводами циркуляційних вентиляторів і підтримує функціонування інших агрегатів, що використовуються в сушарці.

В цілому система передбачає наступні режими керування сушаркою:

- автоматичний за допомогою контролера SIMATIC C7-613 з пристроєм людино-машинного інтерфейсу (текстовою панеллю);
- дистанційний з операторської станції (комп'ютера);
- ручний, за допомогою кнопочних елементів і перемикачів на електричній шафі.

При цьому дистанційний режим співіснує паралельно з автоматичним, а ручний вибирається за допомогою перемикачів окремо для циркуляційних вентиляторів і клапанів та шиберів на дверях електричної шафи.

Автоматичний режим підтримує наступні функції:

- вимірювання та індикацію на текстовій панелі оператора наступних параметрів:
  - температури і психрометричної різниці агента сушіння;
  - вологості деревини за кожним з чотирьох давачів, середньої вологості за вибраними давачами (максимально 4 і мінімально 1 давач), а також індикацію інтегральної розрахункової вологості деревини;
- розрахунок та індикацію на текстовій панелі:
  - загального часу сушіння в сушарці, починаючи від етапу прогрівання і закінчуючи етапом витримки;
  - загального часу від початку сушіння;
  - загального часу, що залишився до кінця сушіння;
- розрахунок та індикацію на текстовій панелі:

- загального часу поточного етапу сушіння;
- часу від початку поточного етапу сушіння;
- часу, що залишився до кінця поточного етапу сушіння;
- автоматичне регулювання температури агента сушіння за сухим і зволженим термометрами з використанням стандартних ПІД-алгоритмів;
- керування циркуляційними вентиляторами з реверсуванням напрямку циркуляції через заданий час (за замовчуванням 1 год). При цьому виконується вимушена затримка до повної зупинки вентиляторів, і тільки після цього вони можуть включитися знову в іншому напрямку обертання;
- індикацію на текстовій панелі напрямку циркуляції агента сушіння в сушарці, а також стан кожного з вентиляторів: працює / не працює;
- введення уставок параметрів, щоб задати вихідні умови сушіння: породу деревини, товщину, ширину пиломатеріалу, початкову та кінцеву вологість деревини, режимні параметри агента сушіння, час прогрівання кінцевої вологотеплообробки і витримки сушіння, а також коефіцієнти сушіння за етапами. При цьому введення уставок можливе в будь-який момент процесу сушіння. (Початкові дані і режимні параметри задаються відповідальною особою за процес сушіння, наприклад, оператором-технологом сушильного господарства)
- запуск процесу сушіння після введення уставок або його зупинку на будь-якому етапі сушіння натискуванням відповідних клавіш на текстовій панелі;
- “місцевий” режим керування, який передбачає перехід на кнопочне керування з текстової панелі клапанами на гарячій і холодній воді та шиберами. Це керування супроводжується індикацією у відсотках положення клапана на гарячій воді і шиберів та індикацією:

відкритий “1”, закритий “0”, клапана на холодній воді. При цьому блокується власне “автоматичний” режим роботи контролера SIMATIC C7-613.

Як в автоматичному, так і в дистанційному режимах роботи система визначає також відносну вологість агента сушіння FI, рівноважну вологість деревини  $W_p$ , а також за допомогою моделі кінетики сушіння розраховує поточну інтегральну вологість штабелів пиломатеріалів. При цьому шляхом вибору відповідної опції в програмному забезпеченні SIMATIC C7-613 процес сушіння може координуватися за розрахунковою вологістю.

В автоматичному режимі система відпрацьовує службові та аварійні повідомлення щодо процесу сушіння і обладнання сушарки і їх архівування та візуалізацію. Візуалізація параметрів виконується на операторській станції.

Система зберігає запрограмовану і поточну інформацію після відключення електричного живлення і автоматично включається в роботу (рестарт) після його появи.

Програмно-апаратний комплекс керування на базі контролера SIMATIC C7-613 розрахований на одночасне керування двома аналогічними лісосушильними камерами.

Дистанційний режим підтримує наступні функції:

- візуалізацію процесу сушіння в лісосушильній камері на операторській станції (ОС) у вигляді мнемосхеми сушарки (додаток В), на якій за допомогою числової інформації, текстових повідомлень і змінних графічних символів виконана індикація всіх вищеперелічених параметрів та станів лісосушильного обладнання;
- виведення на екран монітора ОС поточних повідомлень;
- реєстрацію подій в спеціальному журналі, де фіксується номер події, час її виникнення, об’єкт, на якому відбулася подія, а також короткий коментар події;

- архівування значень параметрів на весь цикл сушіння і подій глибиною до 15 діб;
- збереження архіву значень параметрів попередніх циклів сушіння;
- дистанційне керування за допомогою віртуальної панелі керування на ОС в цілому процесом сушіння (“пуск”, “стоп”), вентиляторами, клапанами і шиберами;
- вибір давачів вологості;
- утворення графіків всіх вимірюваних параметрів; при цьому групування графіків в одному вікні може виконуватися користувачем;
- утворення трендів тих же параметрів;
- інші сервісні функції.

Мнемосхема камери сушіння представлена на додатку В.

Операторська станція одночасно виконує вищеперераховані функції для декількох лісосушильних камер.

Ручний режим керування сушаркою виконується з дверей електричної шафи і передбачає:

- вибір напрямку циркуляції повітря;
- індивідуальне включення і виключення вентиляторів зі світловою сигналізацією включеного стану;
- вибір режиму керування клапанами і шиберами;
- відкривання/закривання клапана гарячої води;
- відкривання/закривання шиберів;
- відкривання клапана на холодній воді.

При цьому вибір напрямку циркуляції повітря і процес відкривання та закривання клапана гарячої води і шиберів супроводжується світловою сигналізацією.

Перехід в ручний режим керування блокує керування вищевказаними механізмами від контролера SIMATIC C7-613.

## 5.2 Вибір елементів системи керування

### 5.2.1 Компактний блок керування SIMATIC C7-613

На рис. 5.1 показаний зовнішній вигляд C7-613.



Рисунок 5.1 – Вигляд спереду C7-613

SIMATIC C7-613 (рис. 5.2) складається з наступних компонентів:

- SIMATIC CPU: S7-313C;
- з'єднаний (вбудований) НМІ модуль (“С7-613 панель” з 4 слотами для обладнання), з клавіатурою і дисплеєм – 20 знаків в рядку;
- інтегроване дискретне і аналогове уведення-виведення (С7-I/O);
- МРІ інтерфейс для з'єднання з пристроєм програмування РС і додаткового S7-CPU, С7 системи керування, і ОР;
- інтерфейс для з'єднання до чотирьох S7-300 модулів, що використовує канали уведення-виведення S7-300.

C7-613 програмується і конфігурується за допомогою Step7 на пристроях програмування або РС.

При розширенні уведення-виведення можна додатково вставити максимум чотири S7-300 модулі. Інтерфейс ІМ не може бути вставлений.

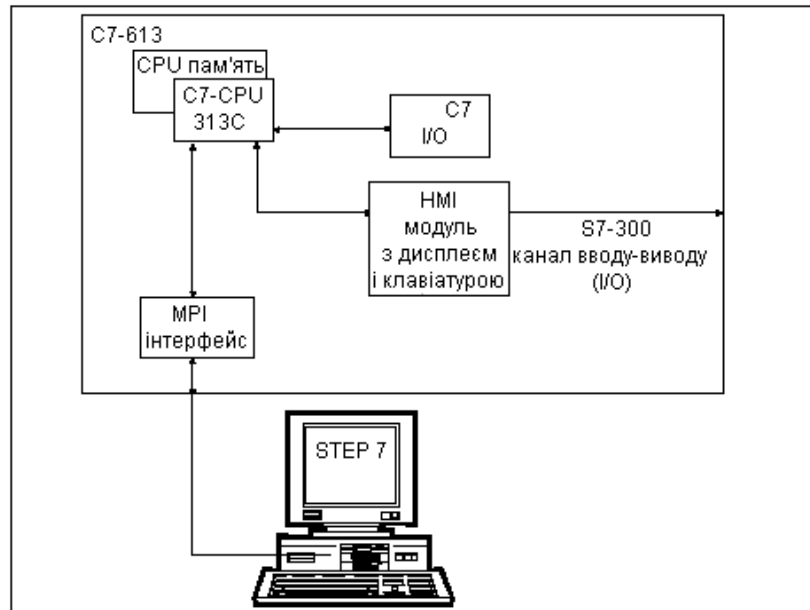


Рисунок 5.2 – Компоненти C7-613

### 5.2.2 Основні складові контейнера керування

Контролер складається з компактного блока керування, сигнальних модулів SM і блока живлення PS. В таблиці 5.1 наведено основні складові компактного блока керування SIMATIC C7-613.

Таблиця 5.1 – Основні складові SIMATIC C7-613

Назва	Умовне позначення	Кількість	Примітка
Компактний блок керування	C7-613	2	4-рядковий текстовий дисплей, клавіатура і центральний процесор (аналог CPU 313C) з 24 дискретними входами, 16 дискретними виходами, 5 аналоговими входами і 2 виходами
Модуль вводу аналогових сигналів	SM 331	2	8 AI 12 біт
Модуль вводу-виводу дискретних сигналів	SM 323	2	16 входів =24В і 16 виходів =24В/0.5А, сумарний вихідний струм 4А
Блок живлення	PS 307-5	2	24 V, 5 A



Модулі SM і PS під'єднуються безпосередньо на C7-613 з допомогою комплекта для встановлення 4-х модулів вводу-виводу і комплекта з'єднувачів з контактами під гвинт для підключення кіл вводу-виводу і живлення. Блок керування компактний SIMATIC C7-613 з модулями вводу-виводу закріплений на дверях контейнера, а на днищі контейнера розташовані два вимірювачі вологості ИВ-3.

До складу контейнера входить блок керування компактний SIMATIC C7-613 з апаратурою фірми Siemens, вимірювач вологості деревини ИВ-3, проміжні реле, вимикачі автоматичні, розетки, клемні колодки та інша допоміжна апаратура.

### 5.3 Вимірювач вологості деревини

Функційна схема вимірювача вологості наведена на рисунку 5.3. Основними складовими частинами вимірювача є: перемикач каналів (1), вимірювальна схема (2), блок комутації (3), блок живлення (4).

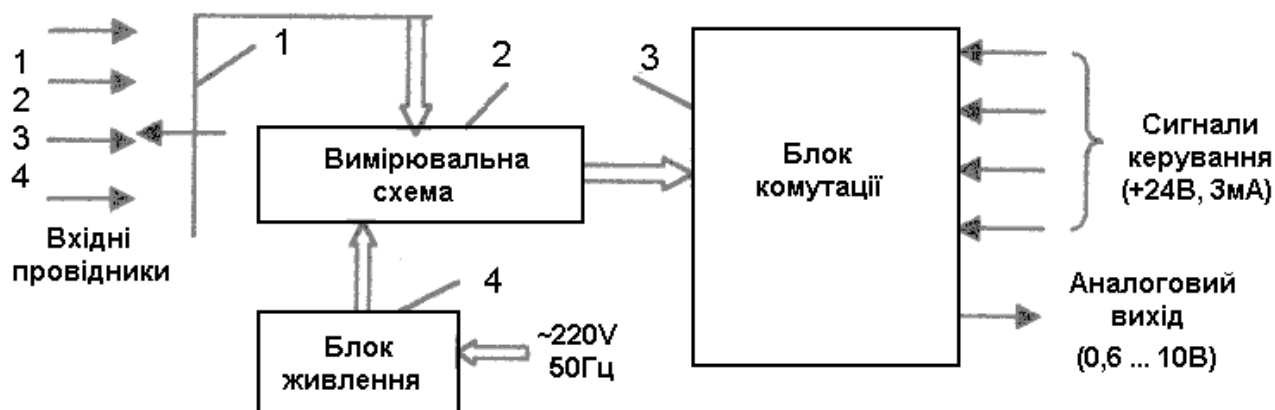


Рисунок 5.3 – Функційна схема вимірювача вологості деревини

## **6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ**

### **6.1 Економічна доцільність розробки системи та її впровадження**

Всі програмні продукти, які розробляються на даний час, необхідно обгрунтувати з точки зору економічної доцільності. Воно необхідне, щоб довести наскільки важливе впровадження автоматичної системи керування лісосушильною камерою. Економічний ефект розробленої системи визначається на основі економічних показників, які дають можливість прогнозувати результат від впровадження даної програми.

У зв'язку з швидким розвитком комп'ютерної техніки і обладнання, технологічного устаткування, безперервною конкуренцією провідних світових виробників вищевказаного обладнання, на сьогодні такий аналіз є невід'ємною частиною попереднього аналізу аналогічних робіт, оскільки саме результат авоматизації виробничих процесів дає суттєве покращення в технології виробництва. Зокрема швидке реагування на зміну вхідних впливів, можливість задавати потрібне значення похибки навчання мережі, стрибкоподібний перехід системи з одного стану в інший, що дає змогу контролеру більш точно відтворювати задане значення температури.

В даній роботі проводиться розрахунок економічних показників та аналіз всієї роботи по проектуванню автоматизованої системи керування температурою в лісосушильній камері.

## 6.2 Визначення економічного ефекту

Для того, щоб переконатися в правильності рішення з економічної точки, необхідно порівняти комплекс показників даної системи управління температурою з аналогами таких систем провідних світових виробників. Для цього необхідно заповнити таблицю 6.1.

Тепер необхідно поррахувати економічний ефект системи, що проектується з аналогом системи 1.

Економічний ефект в умовах виробництва визначається з виразу :

$$En = Ц1 - Ц2, \quad (6.1)$$

де  $Ц1, Ц2$  - оптова ціна відповідно аналога 1 і проектованої системи, грн.

$$Ц2 = Cn2 * (1 + П2/100), \quad (6.2)$$

де  $П2$  - величина прибутку нової системи, %.

$$Ц2 = 25000 * (1 + 15/100) = 28750 \text{ грн.}$$

Для визначення економічного ефекту в умовах виробництва по відношенню, необхідно знайти ціну проектованої системи із відношення.

Оскільки відома тільки повна собівартість аналога 1, то його оптову ціну можна визначити за формулою :

$$Ц1 = Cn1 * (1 + П1/100), \quad (6.3)$$

де  $П1$  - величина прибутку системи-аналога 3, % ;

$Cn1$  - повна собівартість аналога 1, грн. ;  $Cn1 = 30000$  грн

Тому

$$Ц1 = 30000 * (1 + 3/100) = 30900 \text{ грн.}$$

Звідси, економічний ефект згідно формули (6.1) складатиме :

$$En = 30900 - 28750 = 2150 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.1 – Визначення технічного рівня і якості системи

Показник	Одиниця показника	Значення показника		
		система, що проектується	зразка, що замінюється	Кращих аналогів ХАМЭК
Кількість біт Інформації	біт	100	50	80
Відстань передачі даних	км	до 10000	70	110

Таблиця 6.5 – Показники оцінки технічного рівня системи автоматизації

Показники	Варіанти системи		Коефіцієнт технічного рівня
	Базовий варіант	Новий варіант	
Техніко-технологічні показники:			
- середнє напрацювання на відмову, год.	4500	180000	40
- точність відтворення заданого рівня температури, %	97	99	1,02
- час перехідного процесу при зміні температури, сек.	240	140	1,71

### 6.3 Розрахунок лімітної ціни

Лімітна ціна - це максимальна оптова ціна проектованої системи, яка з одного боку, відповідає певним техніко-економічним параметрам проектованої системи і відображає покращення його споживчих властивостей у порівнянні із зразком, який замінюється, а з іншого боку - зацікавлює споживача проектованої системи в його використанні.

Виходячи із приведених раніше визначень, однією з умов економічної ефективності проектованої системи буде співвідношення :

$$Ц_2 \leq Ц_л, \quad (6.4)$$

де  $Ц_л$  - лімітна ціна проектованої системи, грн.

Лімітна ціна проектованої системи визначається за формулою :

$$Ц_л = C_{пмакс} + П_n, \quad (6.5)$$

де  $C_{пмакс}$  - максимальний розмір повної собівартості проектованої системи, грн. ;

$П_n$  - нормативний прибуток (приймається від 12% до 15% повної собівартості), грн .

Максимальний розмір повної собівартості проектованої системи визначається з виразу :

$$C_{пмакс} = 0.85 * C_{п1} * П_k, \quad (6.6)$$

де 0.85 - прийнятий на рівні нормативного коефіцієнт відносного здешевлення нової продукції, який гарантує зниження оптових цін на одиницю кінцевого корисного ефекту ;

$П_k$  - комплексний показник якості проектованої системи ;  $П_k = 6.9$

Згідно формули (6.6):

$$C_{пмакс} = 0,85 * 30000 * 6.9 = 175950 \text{ грн.}$$

Тоді

$$Ц_л = 175950 + 175950 * 0,15 = 202342,5 \text{ грн.}$$

Відповідно нерівності (6.4) спроектована система є економічно ефективна за умови приблизно однакового функціонування, але меншої вартості.

#### **6.4 Визначення економічного ефекту в умовах експлуатації спроектованої системи**

Організаційно-економічні умови експлуатації описуються і для системи-аналогу 1 у прийнятій області застосування. Знання організаційно-економічних умов експлуатації є необхідним для визначення складу експлуатаційних витрат, за рахунок яких можливе досягнення економічного ефекту, необхідно, по-перше, мати уяву про процес, у якому застосовується система (перервний чи неперервний, якими операціями і стадіями він характеризується, які особливості протікання процесу (виготовлена продукція, одержана інформація і т.д., їх призначення і характеристика); по-друге, знати виконувані функції і місце системи у цьому процесі (у яких операціях - технологічних, контролюючих, транспортних та інші, і на якій стадії процесу беруть участь); по-четверте, проаналізувати вплив системи на економічну ефективність процесу. Останню обставину можна проаналізувати на такому прикладі.

Якщо виробничий процес неперервний, використання в ньому приладів, що піддаються ремонту пов'язано не тільки з витратами на ремонти цих приладів, але і з витратами на утримання фонду приладів для заміни, необхідного для забезпечення неперервності процесу. Час ремонту системи у даному випадку буде впливати на величину замінного фонду (чим більше триває ремонт, тим більше необхідно приладів, що замінюються). Для перервного процесу простоювання системи у ремонті можуть знижувати ефективний фонд робочого часу процесу, а значить, знижувати її

продуктивність. Тоді для підтримання продуктивності на попередньому рівні необхідними є певні міри, здійснення яких, як правило, тягне за собою додаткові витрати. Очевидно, що склад витрат у обох випадках буде різним. Оскільки система проектувалась для підвищення продуктивності в порівнянні з системою-аналогом 1, то визначення річного економічного ефекту будемо проводити при збільшенні продуктивності спроектованої системи [7].

Продуктивність системи - це кількість робочих дій , які можна виконати з допомогою даної системи в одиницю часу. При цьому входять усі затрати, які пов'язані з виконанням цієї робочої дії від початку до одержання остаточного результату .

Річний економічний ефект в результаті збільшення продуктивності спроектованої системи визначається за формулою :

$$Ee.p = Ez.p + Ea.p + Ep.p + Een.p + Eу.p , \quad (6.7)$$

де  $Ez.p$  -річний економічний ефект від зарплати ;

$Ea.p$  -річний економічний ефект за амортизацією ;

$Ep.p$  -річний економічний ефект за ремонтами ;

$Een.p$  -річний економічний ефект за енергією ;

$Eу.p$  -річний економічний ефект за умовно-постійними витратами.

Продуктивність , тобто кількість вказаних дій за рік складає :

$$П_1 = \frac{\Phi_D}{t_1} , \quad (6.8)$$

$$П_2 = \frac{\Phi_D}{t_2} , \quad (6.9)$$

де  $t_1$  ,  $t_2$  - час вимірювальної дії відповідно аналога 1 і спроектованої системи, хв.;  $t_1 = 15$  хв.,  $t_2 = 10$  хв. – за день, а за рік відповідно:  $t_1 = 15 * 249 = 3735$ хв.;  $t_2 = 10 * 249 = 2490$ хв (робочих днів у році – 249);

$\Phi_d$  - дійсний річний фонд робочого часу на протязі якого виконуються вказані дії, хв.; величина дійсного річного фонду робочого часу визначається:

$$\Phi_d = 249 * 24 * 60 = 358560 \text{ хв.}$$

Підставивши значення одержимо:

$$П1 = 358560 / 3735 = 96 \text{ од.},$$

$$П2 = 358560 / 2490 = 144 \text{ од.}$$

Річний економічний ефект від зарплати:

$$E_{з.р} = \frac{C_{г1}}{t_1} \times \frac{C_{г}}{60} - t_2 \times \frac{C_{г}}{60} \times (1 - K_3) \times П_2, \quad (6.10)$$

де  $C_{г}$  - годинні тарифні ставки операторів, які зайняті в технологічних процесах, грн.;  $C_{г} = 0.90$  грн.;

$K_3$  - коефіцієнт доплат і відрахувань органам соціального страхування,  $K_3 = 0.475$ .

Тоді

$$E_{з.р} = (3735 * 0.9 / 60 - 2490 * 0.9 / 60) * (1 - 0.475) * 144 = 1411,83 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект за амортизаціі:

$$E_{а.р} = \frac{K_1}{П_1} - \frac{K_2}{П_2} \times \frac{H_E}{100} \times П_2, \quad (6.11)$$

де  $K_1, K_2$  - вартість системи, у якій використано аналог і проектована система, грн.;  $K_1 = 350000$  грн.,  $K_2 = 285000$  грн.

$$E_{а.р} = (350000 / 96 - 285000 / 144) * 15 * 144 / 100 = 36000 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект за ремонтами:

$$E_{р.р} = \frac{C_{р.сер1}}{П_1} - \frac{C_{р.сер2}}{П_2} \times П_2, \quad (6.12)$$

де  $C_{р.сер1}, C_{р.сер2}$  - середньорічні витрати на ремонт відповідно аналога і проектованої системи, грн.

$$C_{р.сер} = \frac{C_{р.ж}}{T_c}, \quad (6.13)$$



де  $\dot{a}$   $C_{p.j}$  – ціна ремонтів даного виду системи за весь період експлуатації.

$T_c$  – термін служби системи, р. Вартість ремонту окремих частин системи вказується в заключеному між “замовником” і “постачальником” договорі на підставі отриманих преїскурантів від концерну Siemens щодо ремонту обладнання.

$$C_{p.cer1} = 19000/50 = 380 \text{ грн,}$$

$$C_{p.cer2} = 15600/50 = 312 \text{ грн.}$$

Підставивши в формулу (6.7) значення, одержимо :

$$E_{p.p} = (380/96 - 312/144) \cdot 144 = 256,8 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект за енергію :

$$E_{e.p} = \frac{C_{t1}}{e} \times \frac{M_1}{60} - t_2 \times \frac{M_2}{60} \cdot \frac{\ddot{o}}{\emptyset} \times a \times \Pi_2, \quad (6.14)$$

де  $M_1, M_2$  – потужність, яка споживається в технологічному процесі, використано аналог 1 (з врахуванням потужності, яка споживається самою системою) і спроектована система, кВт ;  $M_1 = 0.03 \text{ кВт}$  ,  $M_2 = 0.027 \text{ кВт}$  ;

$a$  -тариф за 1 кВтгод , грн. ;  $a = 0.18 \text{ грн.}$

Тому річний економічний ефект за енергією складатиме:

$$E_{e.p} = (15 \cdot 0.03/60 - 10 \cdot 0.027/60) \cdot 0.18 \cdot 144 = 0,776 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект за умовно-постійними витратами :

$$E_{y.p} = \frac{C_{P_y}}{e \Pi_1} - \frac{P_y}{\Pi_2} \cdot \frac{\ddot{o}}{\emptyset} \times \Pi_2, \quad (6.15)$$

де  $P_y$  – річна сума умовно-постійних витрат, спрямованих на підтримування стабільності і безперебійності роботи системи (післягарантійне обслуговування, закупівля нового обладнання, яке вийшло з ладу і не підлягає ремонту) згідно з договором, грн. ;  $P_y = 5000 \text{ грн.}$

Звідси

$$E_{y.p} = (5000/96 - 5000/144) \cdot 144 = 2067,84 \text{ грн.,}$$

$$E_{e.p} = 1411,83 + 36000 + 256,8 + 0,776 + 2067,84 = 39737,246 \text{ грн.}$$

Термін окупності

$$T_{ок} = \frac{Ц_2}{П}, \quad (6.16)$$

де  $П$  – прибуток від застосування системи.

$$П = Eзр + Eар, \quad (6.17)$$

Економічна ефективність є величиною оберненою до терміну окупності і визначається за формулою:

$$E_к = \frac{1}{T_{ок}}, \quad (6.18)$$

Підставивши відповідні значення знаходиться:

$$T_{ок} = 28750 / (256,8 + 36000) = 0.79 \text{ років}$$

$$E_к = 1 / 0.79 = 1.26.$$

Із приведених вище розрахунків видно, що використання багатотарифної приставки підтверджує технічну та економічну ефективність.

В результаті проведення економічного обґрунтування розробки та впровадження системи було визначено такі економічні показники, як витрати на розробку програмного забезпечення, капітальні вкладення, економія експлуатаційних витрат, термін окупності спроектованого програмного забезпечення та річний грошовий економічний ефект від впровадження системи. Аналіз розрахованих значень цих показників дає можливість зробити висновок, що впровадження даної системи є економічно доцільним.

## **7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **7.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів**

Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів слід проводити для двох приміщень – цеху та операторської станції (ОС). Результати такого аналізу приведемо у вигляді таблиці 7.1.

Небезпеки, пов'язані з камерою, виникають в основному при аваріях на ньому. При нормальних умовах експлуатації в робочому режимі камери є повністю безпечним об'єктом.

Небезпеки, пов'язані з ЕОМ, присутні весь час при роботі користувачів. В ОС можливі розрядні струми статичної електрики, які частіше за все виникають при торканні до будь-якого з елементів ЕОМ. Такі розряди небезпеки для людини не представляють, але крім неприємних відчуттів вони можуть призвести до виходу з ладу ЕОМ.

Другим за величиною впливу фактором є випромінювання моніторів комп'ютерів. Так рентгенівське випромінювання шкідливо впливає на кісткові тканини і кровотворні функції кісткового мозку, інфрачервоне випромінювання шкідливо впливає на зір, втомлюючи очі, порушує сприйняття кольорів оком.

Сильно впливає на людський організм освітлення. Недостатнє або надто сильне освітлення приводить до втоми очей, їх напруження, що викликає загальну втому працюючих. Можна стверджувати, що цей фактор є основним при аналізі зорової роботи, до якої відноситься робота за комп'ютером.

Впливом шуму можна знехтувати – котел працює на газі, тому рівень шуму не є високим. Також котел не дає вібрації.

Таблиця 7.1 – Аналіз небезпечних факторів

Виробничий об'єкт	Небезпечний фактор (технологічна операція)	Фактичне значення	Нормативне значення (безпечна величина)	Характер дії на людину
Цех сушіння	температура	$t_p = 194 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_o = 70 \text{ }^\circ\text{C}$	опіки, ураження очей при руйнуванні конструкції і виході пари назовні
	електричний струм	$U = 220 \text{ В,}$ $I = 1,5 \text{ кА,}$ $f = 50 \text{ Гц}$	$I \leq 0,1 \text{ А}$ для змінного струму	опіки, порушення діяльності внутрішніх органів, ушкодження
ЕОМ	шум	$L_p = 80 \text{ дБ}$	$L_p = 50 \text{ дБ}$	роздратування, втома,
	рентгенівське випромінювання	9-10 мкР/год	75,0 мкР/год	загальна втома, головний біль, різь в очах
	ультрафіолетове випромінювання	$0,02 \text{ Вт/м}^2$	$0,01 \text{ Вт/м}^2$	
	ІЧ-випромінювання	$4,0 \text{ Вт/м}^2$	$100,0 \text{ Вт/м}^2$	
	електростатичне поле	15 кВ/м	20-60 кВ/м	
	яскравість	$80 \text{ кД/м}^2$	не менше 35 кД/м <sup>2</sup> , не більше 60 кД/м <sup>2</sup>	
	електричний струм	$U = 220 \text{ В,}$ $I = 2 \text{ А,}$ $f = 50 \text{ Гц}$	$I \leq 0,1 \text{ А}$ для змінного струму	опіки, порушення діяльності внутрішніх органів, їх ушкодження

## 7.2 Забезпечення нормальних умов праці

Насамперед в приміщеннях слід забезпечити сприятливі метеорологічні умови, всі дані занесено до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Метеорологічні умови в виробничих приміщеннях

Виробниче приміщення	Категорія важкості фізичних робіт	Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Цех сушіння	середня	теплий	18-22	40-60	0,2
		холодний	17-23	40-60	0,2
Операторний центр	легка	теплий	19-24	40-60	0,1
		холодний	18-23	40-60	0,1

Повітря в приміщеннях слід кондиціювати, що здійснюється шляхом організації вентиляції. Кондиціонування повітря повинне забезпечити підтримання параметрів мікроклімату у необхідних межах в усі сезони року, очищення повітря від пилуки, шкідливих речовин, створення невеликого надлишкового тиску у приміщеннях для виключення надходження неочищеного повітря. Для всіх промислових приміщень обов'язково передбачається природна вентиляція, яка доповнюється штучною. Зрозуміло, що параметри вентиляції для цеху та ОЦ відрізняються. Це добре видно з таблиці 7.3.

Освітлення в приміщеннях повинне бути комбінованим (природним і штучним). Мінімальне значення аварійної освітленості становить 5% від загальної, але не менше 2 лк в середині приміщення і не менше 1 лк для території підприємства. Евакуаційна освітленість становить 0,5 лк для приміщень і 0,2 лк на

відкритій території.

Для освітлення використовуються люмінесцентні лампи – їх вибір пов’язаний з хорошими показниками цих ламп (мала споживана потужність, хороші світлотехнічні показники). Всі дані зведено до таблиці 7.4.

Таблиця 7.3 – Параметри систем вентиляції

Виробниче приміщення	Вид вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність повітряного обміну, 1/год
Цех сушіння	природна (аерація)	-	2
	штучна (загальна припливна)	центробіжний вентилятор типу Ц-4-70 (з асинхронним двигуном А4118М, потужністю $P = 2,2$ кВт, напругою живлення $U = 380$ В)	6
Операторний центр	природна	-	2
	штучна (місцева припливно-витяжна)	кондиціонер Samsung X5	5

Таблиця 7.4 – Характеристики систем освітлення

Виробниче приміщення	Розряд та підрозряд зорової роботи	Освітленість, лк			Тип світильників
		загальна	аварійна	евакуаційна	
Цех сушіння	VI	150	10	0,5	ЛСП02-2x40-150-2М
Операторний центр	I, г	400	20	0,5	ЛПО12 „Кососвет”

Загалом розрізняють 7 розрядів зорових робіт. Для даного випадку зорові роботи: I розряд, підрозряд „г” – зорова робота найвищої точності (розмір об’єктів, з якими ведеться робота, менше 0,15мм, контраст об’єкту з фоном –

середній чи великий, фон – світлий чи середній); розряд VI – груба робота, дуже малої точності.

Маркування ламп: перша літера – тип лампи (Л – люмінесцентна, Н – звичайна лампа розжарювання і т.д.), друга літера – спосіб кріплення лампи (С – підвісний світильник, П – стельовий, Б – настінний і т.д.), третя – призначення (О – для громадських будівель, П – світильник для промислових підприємств, У – для зовнішнього освітлення і т.д.). Цифри після назви лампи – номер серії, далі вказується кількість ламп і їх потужність (якщо кількість ламп рівна 1, то цифра „1” не вказується), далі вказуються номер модифікації, позначення кліматичного виконання та категорії розміщення.

### **7.3 Розрахунок освітленості виробничого приміщення**

Для створення нормальних умов зорової роботи необхідно забезпечити освітленість більшу, ніж мінімально допустимі норми. Проведемо розрахунок системи освітлення.

На сучасному етапі використовуються три типи освітлення:

- а) природне;
- б) штучне;
- в) змішане (природне + штучне).

З точки зору медико – санітарних норм природне освітлення є економічним і досконалим.

Існує три види природного освітлення

- а) бокове;
- б) верхнє;
- в) комбіноване.

Освітлення в денний період забезпечується за допомогою віконних отворів . Для роботи зранку та ввечері передбачене штучне освітлення.

Для визначення розмірів світлових отворів при боковому освітленні використовується формула:

$$S_0 := \frac{I_n \cdot K_3 \cdot n_{10} \cdot S_n}{100 \cdot t_0 \cdot V_1} \cdot K_b \quad (7.1)$$

де  $S_0$  - площа світлових отворів,  $m^2$ ;  $S_n = 99 m^2$  - площа підлоги приміщення;  $I_n = 3,5$  - нормоване значення коефіцієнта природного освітлення;  $K_3$  - коефіцієнт запасу (в даному випадку приміщення відноситься до категорії з особливим ритмом по чистоті повітря і тому коефіцієнт запасу не враховується);  $n_{10} = 18$  - світлова характеристика вікон;  $V_1 = 1,1$  - коефіцієнт, який враховує відбивання світла від поверхні;  $K_6 = 1$  - коефіцієнт, який враховує затемнення вікон будинками, які стоять навпроти;  $t_0$  - загальний коефіцієнт світлопроникання, визначається по формулі:

$$t_0 := t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_4 \cdot t_5, \quad (7.2)$$

де  $t_1 = 0,8$ ;  $t_2 = 0,6$  та  $t_3 = 1$  - коефіцієнти світлопропускання матеріалу вікна, виду вікна та його конструкції,  $t_4 = 1$  - коефіцієнт, який враховує витрати світла в сонцезахисних конструкціях;  $t_5 = 0,9$  - коефіцієнт, який враховує витрати світла в захисній сітці, яка встановлюється під лампою.

Всі значення коефіцієнтів:  $t_1, t_2, t_3, t_4, I_n, K_3, n_{10}, V_1, K_6$  беруться із відповідних таблиць. Отже:

$$t_0 = 0,8 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,432 \quad (7.3)$$

Отримуємо необхідну площу світлових отворів:

$$S_0 := \frac{I_n \cdot n_{10} \cdot S_n}{100 \cdot t_0 \cdot V_1} \cdot K_b \quad (7.4)$$

$$\frac{3,5 \cdot 18 \cdot 99}{100 \cdot 0,432 \cdot 1,1} = 131,25 \text{ м}^2 \quad (7.5)$$

Потрібна кількість вікон:



$$n_b = \frac{S_0}{S_b} = \frac{10,93}{3 * 1,5} = 2,43 @3, \quad (7.6)$$

де  $S_b$  - площа вікон.

В виробничому приміщенні знаходяться 3 стандартних вікна розміром 1.5' 3 м. Розташування вікон показано на рисунку 7.1.

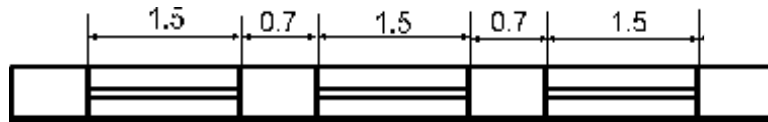


Рисунок 7.1 - Розташування вікон

Для компенсації нестачі природного світла та для освітлення приміщень застосовують штучне освітлення.

Розрахунок штучного освітлення проводимо за допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку. Даний метод дозволяє визначити світловий потік ламп, необхідний для досягнення заданої освітленості із урахуванням світла, відбитого від стін, стелі та робочої поверхні. У кімнаті проводяться роботи середньої точності (IV-го роду), для яких нормована величина освітленості у випадку використання люмінесцентних ламп рівна 300 лк.

Сумарний світловий потік розраховується за формулою:

$$F_a = \frac{E_n * S * K * Z}{h} * 100,_{лм} \quad (7.7)$$

де  $E_n = 300,_{лк}$  - нормована освітленість;  $K$  - коефіцієнт запасу (для люмінесцентних ламп 1,5...2);  $Z$  - коефіцієнт мінімальної освітленості, що дорівнює відношенню середньої освітленості до мінімальної (приймається рівним 1,1...2);  $h$  - коефіцієнт використання світлового потоку, він залежить від показника приміщення  $i$ , розподілу сили світла світильника, коефіцієнтів відбиття: стелі -  $\tau_n$ , від стін -  $\tau_c$ , робочої поверхні -  $\tau_{pn}$ , та знаходиться за допомогою спеціальних таблиць.

Для знаходження  $h$  розрахуємо показник приміщення  $i$ :

$$i = \frac{A * B}{H_p * (A + B)}, \quad (7.8)$$

де  $A$  і  $B$  - відповідно довжина та ширина приміщення в метрах;  $H_p$  висота підвісу світильника над робочою поверхнею.

$$i = \frac{6 * 4.5}{3.55 * (4.5 + 6)} = 0.72. \quad (7.9)$$

Прийнявши  $r_n=50\%$ ,  $r_c=30\%$ ,  $r_{pn}=10\%$ , знаходимо із таблиць значення  $\eta$  для  $i=0.72$  та світильника типу НОДЛ-2х40. В даному випадку  $\eta=24\%$ .

Знаходимо  $F_{\dot{a}}$  :

$$F_{\dot{a}} = \frac{300 * 27 * 1.7 * 1.1}{24} * 100 = 63112.5, \text{ лк} \quad (7.10)$$

Необхідна кількість ламп розраховується за формулою:

$$n = \frac{F_{\dot{a}}}{F_1}, \quad (7.11)$$

де  $F_1$  - світловий потік однієї лампи (лм).

Для освітлення вибираємо лампу ЛБ-40, у якої  $F_1=2850$  лм.

Тоді:

$$n = \frac{63112.5}{2850} = 22.1 \approx 23. \quad (7.12)$$

Так як у світильнику НОДЛ-2х40 використовується 2 лампи ЛБ-40, то для освітлення операторної необхідно 12 світильників.

Фактична освітленість

$$E_{\phi} = \frac{\Phi_l * n * h}{S * K * Z * 100} = \frac{2850 * 23 * 24}{27 * 1.7 * 1.1 * 100} = 312, \text{ лк}. \quad (7.13)$$

Отже, вимоги СНП П-4-79 витримано  $E_{\phi} \geq E_n$ .

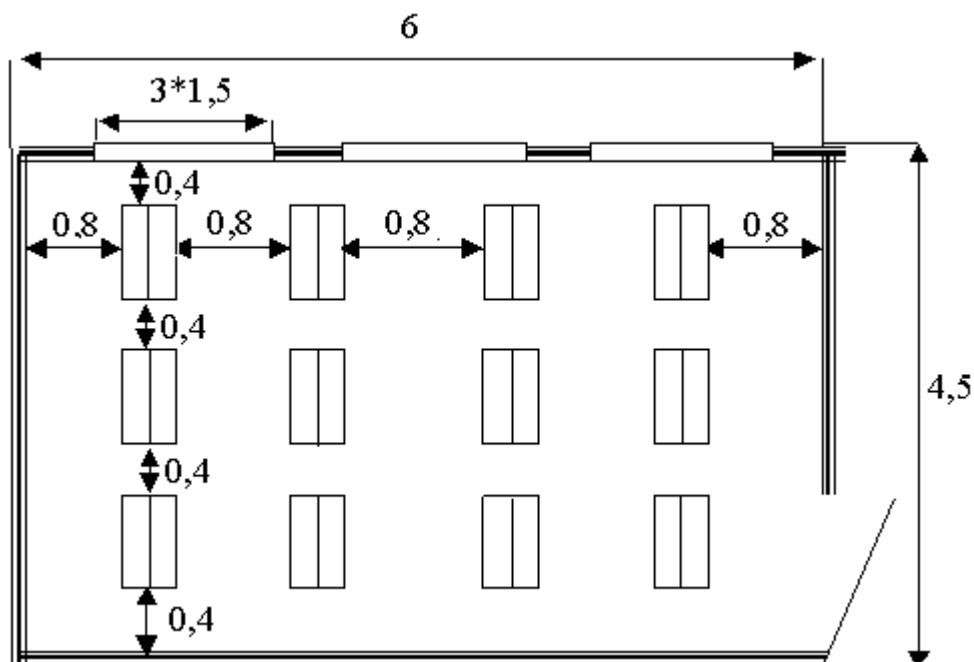


Рисунок 7.2 - Схема розміщення світильників.

#### 7.4 Електромагнітний імпульс ядерного вибуху і захист від нього радіоелектронних засобів

На початку 90-х років у США стала зароджуватися концепція, відповідно до якої збройні сили країни повинні мати не тільки ядерні і звичайні озброєння, але і спеціальні засоби, що забезпечують ефективну участь у локальних конфліктах без нанесення супротивнику зайвих втрат у живій силі і матеріальних цінностях.

До цієї спеціальної зброї американські військові фахівці в першу чергу відносять:

- засоби створення електромагнітного імпульсу (ЕМІ);
- генератори інфразвуку;
- хімічні склади і біологічні рецептури, здатні змінювати структуру базових матеріалів основних елементів бойової техніки;
- речовини, що виводять з ладу змащення і гумові вироби, викликають загустення пального;

- лазери.

В даний час основні роботи з розвитку технологій зброї не смертельної дії (ЗНСД) проводяться в керуванні перспективних досліджень міністерства оборони, Ліверморській і Лос-Аламоській лабораторіях міністерства енергетики, центрі розробок озброєння міністерства армії і т.д.

Найбільш близькі до прийняття на озброєння різні типи лазерів для осліплення особового складу, хімічні засоби для його знерухомилення, генератори ЕМІ, що негативно впливають на роботу електронної техніки.

Генератори ЕМІ (супер ЕМІ), як показують теоретичні роботи і проведені за рубежом експерименти, можна ефективно використовувати для виводу з ладу електронної й електротехнічної апаратури, для стирання інформації в банках даних і псування ЕОМ.

За допомогою ЗНСД на основі генераторів ЕМІ можливий вивід з ладу ЕОМ, ключових радіо й електротехнічних засобів, систем електронного запалювання й інших автомобільних агрегатів, чи підірвавши інактивація мінних полів. Вплив цієї зброї досить вибірково і політично цілком прийнятний, однак потрібна точна доставка його в райони поразення.

Незважаючи на визнання військово-політичним керівництвом США і НАТО неможливості перемоги в ядерній війні, різні аспекти вражаючого дії ядерної зброї продовжують широко обговорюватися. Так, в одному з розглянутих іноземними фахівцями сценаріїв початкового періоду ядерної війни особливе місце приділяється потенційної можливості висновку з ладу радіоелектронної техніки в результаті впливу на неї ЕМІ.

Вважається, що підірвавши на висоті близько 400 км тільки одних боєприпасів потужністю більш 10 Мт приведе до такого порушення функціонування радіоелектронних засобів у великому районі, при якому час їхнього відновлення перевищить припустимі терміни для вживання відповідних заходів.

По розрахунках американських експертів, оптимальною точкою підриву ядерних боєприпасів для поразки ЕМІ радіоелектронних засобів майже на всій території США була би точка в космосі з епіцентром у районі географічного центра країни, що знаходиться в штаті Небраска.

Теоретичні дослідження і результати фізичних експериментів показують, що ЕМІ ядерного вибуху може привести не тільки до виходу з ладу напівпровідникових електронних пристроїв, але і до руйнування металевих провідників кабелів наземних споруд. Крім того, можлива поразка апаратури, що знаходяться на низьких орбітах.

Для генерації ЕМІ ядерні боєприпаси можуть підриватися в космічному просторі, що не приводить до виникнення ударної хвилі і випаданню радіоактивних опадів. Тому в закордонній пресі виголошуються наступні думки про "неядерний характер" такого бойового застосування ядерної зброї і про те, що удар з використанням ЕМІ не обов'язково приведе до загальної ядерної війни.

Небезпека цих заяв очевидна, тому що одночасно деякі закордонні фахівці не виключають можливість масової поразки за допомогою ЕМІ і живої сили. У всякому разі цілком очевидно, що наводимі під впливом ЕМІ в металевих елементах техніки струми і напруги будуть смертельно небезпечні для особового складу.

## **7.5 Сучасний стан знань в області ЕМІ**

Для того, щоб зрозуміти всю складність проблем загрози ЕМІ і заходів для захисту від її, необхідно коротко розглянути історію вивчення цього фізичного явища і сучасний стан знань у цій області.

Те, що ядерний вибух буде обов'язково супроводжуватися електромагнітним випромінюванням, було ясно фізикам-теоретикам ще до першого іспиту ядерного пристрою в 1945 році. Під час проводившихся в кінці 50-х - початку 60-х років ядерних вибухів в атмосфері і космічному

просторі наявність ЕМІ було зафіксовано експериментально. Однак кількісні характеристики імпульсу вимірялися в недостатньому ступені, по-перше, тому що була відсутня контрольна-вимірювальна апаратура, здатна реєструвати надзвичайно могутнє електромагнітне випромінювання, що існує надзвичайно короткий час (мільйонні частки секунду), по-друге, тому що в ті роки в радіоелектронній апаратурі використовувалися винятково електровакумні прилади, що мало піддані впливу ЕМІ, що знижувало інтерес до його вивчення.

Створення напівпровідникових приладів, а потім і інтегральних схем, особливо пристроїв цифрової техніки на їхній основі, і широке впровадження засобів у радіоелектронну військову апаратуру змусили військових фахівців з іншою оцінкою загрози ЕМІ. З 1970 року питання захисту зброї і військової техніки від ЕМІ стали розглядатися міністерством оборони США як мають вищу пріоритетність.

Механізм генерації ЕМІ полягає в наступному. При ядерному вибуху виникають гама- і рентгенівське випромінювання й утворюється потік нейтронів. Гамма-випромінювання, взаємодіючи з молекулами атмосферних газів, вибиває з них так звані комптоновські електрони.

Якщо зрив здійснюється на висоті 20-40 км, то ці електрони захоплюються магнітним полем Землі і, обертаючись відносно силових ліній цього поля, створюють генеруючі струми ЕМІ. При цьому поле ЕМІ когерентно сумується в напрямку до земної поверхні, тобто магнітне поле Землі виконує роль, подібну фазованій антенною решітці.

В результаті цього різко збільшується напруженість поля, а отже, і амплітуда ЕМІ в районах південніше і північніше епіцентру вибуху. Тривалість даного процесу з моменту вибуху від 1-3 до 100 нс.

На наступній стадії, що триває приблизно від 1 мкс до 1 с, ЕМІ створюється комптоновськими електронами, вибитими з молекул багаторазово відбитим гамма-випромінюванням і за рахунок непружного зіткнення цих електронів з потоком нейтронів, що випускаються при

вибуху. Інтенсивність ЕМІ при цьому виявляється приблизно на три порядки нижче, ніж на першій стадії.

На кінцевій стадії, що займає період часу після вибуху від 1 с до декількох хвилин, ЕМІ генерується магнітогідродинамічним ефектом, породжуваним збурюваннями магнітного поля Землі струмопровідною вогненною кулею вибуху. Інтенсивність ЕМІ на цій стадії дуже мала і складає кілька десятків вольтів на кілометр.

Найбільшу небезпеку для радіоелектронних засобів представляє перша стадія генерування ЕМІ, на якій відповідно до закону електромагнітної індукції через надзвичайно швидке наростання амплітуди імпульсу (максимум досягається на 3-5 нс після вибуху) наведена напруга може досягати десятків кіловольт на метр на рівні земної поверхні, плавно знижуючись в міру видалення від епіцентру вибуху.

Амплітуда напруги, що наводиться ЕМІ в провідниках, пропорційна довжині провідника, що знаходиться в його полі, і залежить від його орієнтації щодо вектора напруженості електричного поля. Так, напруженість полюси ЕМІ у високовольтних лініях електропередачі може досягати 50 кВ/м, що приведе до появи в них струмів силою до 12 тис. ампер.

ЕМІ генеруються і при інших видах ядерних вибухів - повітряному і наземному. Теоретично встановлено, що в цих випадках його інтенсивність залежить від ступеня асиметричності просторових параметрів вибуху. Тому повітряний вибух з погляду генерації ЕМІ найменш ефективний. ЕМІ наземного вибуху буде мати високу інтенсивність, однак вона швидко зменшується в міру видалення від епіцентру.

## **7.6 Використання імітаторів ЕМІ для набору експериментальних даних**

Оскільки збір експериментальних даних при проведенні підземних ядерних випробовувань технічно дуже складний і дорогий, то вирішення набору даних досягається методами і засобами фізичного моделювання.

Серед капіталістичних країн передові позиції в розробці і практичному використанні імітаторів ЕМІ ядерного вибуху займають США. Подібні імітатори являють собою електрогенератори з спеціальними випромінювачами, що створюють електромагнітне поле з параметрами близькими до тих, що характерні для реального ЕМІ. У зону дії випромінювача поміщається випробовуваний об'єкт і прилади, що реєструють інтенсивність поля, його частотний спектр і тривалість впливу.

Один з таких імітаторів, розгорнутий на авіабазі ВВС США Кіртленд, призначений для моделювання умов впливу ЕМІ на літак і його апаратуру. Він може використовуватися для випробовувань таких великих літальних апаратів, як бомбардувальник У-52 чи цивільний авіалайнер Боїнг-747.

В даний час створена і діє велика кількість імітаторів ЕМІ для випробовувань авіаційної, космічної, корабельної і наземної техніки. Однак вони не повною мірою відтворюють реальні умови впливу ЕМІ ядерного вибуху внаслідок обмежень, що накладаються характеристиками випромінювачів, генераторів і джерел електроживлення на частотний спектр випромінювання, його потужність і швидкість наростання імпульсу.

Разом з тим, і при цих обмеженнях вдається одержати досить повні і надійні дані про появу несправностей у напівпровідникових приладах, збою в їхньому функціонуванні і т.п., а також про ефективність дії різних захисних пристроїв. Крім того, такі випробовування дозволили дати кількісну оцінку небезпеки різних шляхів впливу ЕМІ на радіоелектронну техніку.



Теорія електромагнітного поля показує, що такими шляхами для наземної техніки є насамперед різні антенні пристрої і кабельні введення системи електроживлення, а для авіаційної і космічної техніки - антени, а також струми, що наводяться в обшивці, і випромінювання, що проникають через скло кабін і лючки з неструмопровідних матеріалів.

Струми, що наводяться ЕМІ в наземних і заглиблених кабелях електроживлення довжиною в сотні і тисячі кілометрів, можуть досягати тисяч амперів, а напруга в розімкнутих колах таких кабелів - мільйон вольт. В антенних відведеннях, довжина яких не перевищує десятків метрів, наводимі ЕМІ струми можуть мати силу в кілька сотень амперів. ЕМІ, що проникає безпосередньо через елементи споруджень з діелектричних матеріалів (неекрановані стіни, вікна, двері і т.п.), може наводити у внутрішній електропроводці струми силою в десятки амперів.

Оскільки слабострумові кола і радіоелектронні прилади нормально функціонують при напругах у декілька вольт і струмах силою до декількох десятків міліампер, то для їх абсолютно надійного захисту від ЕМІ потрібно забезпечити зниження величини струмів і напруг у кабелях до шести порядків.

### **7.7 Можливі шляхи вирішення задачі захисту від ЕМІ**

Ідеальним захистом від ЕМІ було б повне закриття приміщення металевим екраном, в якому розміщена радіоелектронна апаратура. Разом з тим ясно, що практично забезпечити такий захист в ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричний зв'язок із зовнішніми пристроями.

Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі як струмопровідні сітки чи плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для воздухозабірників і вентиляційних отворів та контактні пружинні прокладки, розташовувані по периметру дверей і люків.

Більш складною технічною проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Радикальним вирішенням даної проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично не підданих впливу ЕМІ волоконно-оптичних.

Однак заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконуваних ними функцій електронно-оптичними пристроями можливо тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час як засоби захисту кабельних вводів найбільше широко використовуються фільтри, в тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металоокисні варистори і високошвидкісні зенеровські діоди.

Усі ці засоби мають як переваги, так і недоліки. Так, ємнісно-індуктивні фільтри досить ефективні для захисту від ЕМІ малої інтенсивності, а волоконні фільтри захищають у відносно вузькому діапазоні надвисоких частот. Іскрові розрядники володіють значною інерційністю й, в основному, придатні для захисту від перевантажень, що виникають під впливом напруг і струмів, що наводяться в обшиваці літака, кожусі апаратури й екрануванні кабеля.

Металлоокисні варистори являють собою напівпровідникові прилади, що різко підвищують свою провідність при високій напрузі. Однак, при застосуванні цих приладів, як засобу захисту від ЕМІ, варто враховувати їхню недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при кількарізовому впливі навантажень.

Ці недоліки відсутні у високошвидкісних зенеровських діодах, дія яких базується на різкій лавиноподібній зміні опору від відносно високого значення практично до нуля при перевищенні прикладеної до них напруги визначеної граничної величини. Крім того, на відміну від варисторів, характеристики зенеровських діодів після багаторазових впливів високих напруг і переключень режимів не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМІ кабельних вводів є створення таких роз'ємів, в конструкції яких

передбачені спеціальні міри, що забезпечують формування елементів фільтрів і установку вмонтованих зенеровських діодів. Подібне вирішення сприяє одержанню дуже малих значень ємності й індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, що мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову. Використання роз'ємів подібної конструкції дозволить вирішити проблему обмеження масо-габаритних характеристик пристрою захисту.

Складність вирішення задачі захисту від ЕМІ і висока вартість розроблених для цих цілей засобів і методів змушують піти на перших порах по шляху їхнього вибіркового застосування в особливо важливих системах зброї і військової техніки. Першими цілеспрямованими роботами в даному напрямку були програми захисту від ЕМІ стратегічної зброї.

Такий же шлях обраний і для захисту систем, що мають велику довжину керування і зв'язку. Однак, основним методом вирішення даної даної проблеми закордонні фахівці вважають створення так званих розподілених мереж зв'язку (типу "Гвен"), перші елементи яких уже розгорнуті на континентальній частині США.

Сучасний стан проблеми ЕМІ можна оцінити в такий спосіб. Досить добре досліджені теоретично і підтверджені експериментально механізми генерації ЕМІ і параметри його вражаючої дії.

Розроблено стандарти захищеності апаратури і відомі ефективні засоби захисту. Однак, для досягнення достатньої впевненості в надійності захисту систем і засобів від ЕМІ необхідно провести випробовування за допомогою імітатора. Що стосується повномасштабних випробовувань систем зв'язку і керування, то ця задача навряд чи буде вирішена в доступному для огляду майбутньому.

Могутній ЕМІ можна створити не тільки в результаті ядерного вибуху. Сучасні досягнення в області неядерних генераторів ЕМІ дозволяють зробити їх досить компактними для використання зі звичайними і високоточними засобами доставки.

В даний час у деяких західних країнах ведуться роботи з генерації імпульсів електромагнітного випромінювання магнітодинамічними пристроями, а також високовольтними розрядами. Тому питання захищеності від впливу ЕМІ будуть залишатися в центрі уваги фахівців при будь-якому результаті переговорів про ядерне роззброювання.

### **7.8 Практична оцінка стійкості промислового цеху до впливу ударної хвилі ядерного вибуху**

Вихідні дані: Цех розміщений на відстані 5 км. від ймовірної точки прицілювання  $R_r = 5\text{км}$ ; очікувана потужність ядерного боєзапасу  $q = 500$  кг; можливе максимальне відхилення ядерного боєзапасу від точки прицілювання  $r_{отк} = 0,4\text{км}$ ; характеристика цеху: будівля – залізобетон, верстати – легкі, трубопроводи – на металічних естакадах, наземні, кабельні мережі – наземні.

Розрахунок.

Визначаємо максимальне значення надлишкового тиску, очікуваного на території цеху. Для цього знаходимо мінімальну відстань до можливого центру вибуху :

$$R_x = R_r - r_{отк} = 5 - 0,4 = 4,6\text{км}.$$

Потім знаходимо надлишковий тиск  $DP_\phi$  на відстані 4,6 км. для боєзапасу потужністю  $q = 500$  кг. при наземному вибуху (менш благополучному). Цей тиск являється максимально очікуваним на об'єкті  $DP_{\phi\text{MAX}} = 30\text{кПа}$ .

Виділяємо основні елементи цеху і визначаємо їх характеристики.

Основними характеристиками цеху являються: будівля, в технологічному обладнанні – легкі верстати, в комунікально-енергетичних трубопроводі і кабельні мережі. Їх характеристики беремо з вихідних даних і заносимо у вільну таблицю результатів оцінки таблиця 7.5

Знаходимо для кожного елемента цеху надлишковий тиск, який викликає слабкі, середні, сильні і повні руйнування.

Так будівля цеху з вказаними характеристиками (залізобетон) одержить слабкі руйнування при надлишковому тиску 10..20 кПа, середні – 20..30 кПа, повні – 30..60 кПа.

Визначаємо межу стійкості кожного елемента цеху – надлишковий тиск, викликаючий слабкі руйнування. Будівля цеху має межу стійкості до ударної хвилі, рівну 20 кПа, легкі верстати 12 кПа, трубопровід на металічних естакадах 30 кПа, наземні кабельні мережі 30 кПа.

Визначаємо межу стійкості цеху в цілому по мінімальній границі стійкості вхідних в його склад елементів. Співставляючи границі стійкості елементів які входять в його склад, одержимо, що межа стійкості цеха  $DP_{\text{ФЛМ}} = 12 \text{ кПа}$ .

Визначаємо по окремій методиці степені руйнування елементів цеху при очікуваному максимальному надлишковому тиску і можливі втрати (процент виходу з ладу виробничих площ і обладнання). При  $P_{\text{ФМАХ}} = 30 \text{ кПа}$  в цеху середні руйнування одержать: будівля цеху, кабельні мережі, трубопровід на залізних естакадах. При цьому вийдуть з ладу 20 % виробничої площі, 100 % технологічного обладнання і 10 % енергозабезпечення.

Аналізуємо результати оцінки і робимо висновки та пропозиції по підвищенні стійкості цеху до ударної хвилі ядерного вибуху: будівля цеху може бути біля межі зони середніх і сильних руйнувань ядерного ураження з ймовірним максимальним надлишковим тиском ударної хвилі 30 кПа, а межа стійкості цеху до ударної хвилі 20 кПа, що менше  $DP_{\text{ФМАХ}}$  і, відповідно цех не стійкий до ударної хвилі; технологічне обладнання – межа стійкості 12 кПа, що також менше  $DP_{\text{ФМАХ}}$ , а повне руйнування легких верстатів досягається уже при 25 кПа, отже, найбільш слабкими елементами є – будівля цеху і легкі верстати.

Можливі втрати при максимальному надлишковому тиску ударної хвилі, очікуваному на об'єкті, призведе до повної зупинки виробництва через втрату технологічного обладнання, а саме, легких верстатів; так-як очікуваний на об'єкті максимальний надлишковий тиск ударної хвилі 30 кПа, а межі стійкості комунікаційно-експлуатаційних систем більше 30 кПа, то доцільно буде підвищити межу стійкості будівлі цеху і обладнання до 30 кПа.

Для підвищення стійкості цеху до ударної хвилі необхідно: підвищити стійкість будівлі цеху пристроями контрфорсів, підкосів, додаткових рамних конструкцій; кабельну електромережу, а також трубопроводи прокласти під землею; легкі верстати замінити більш важкими, закрити їх захисними кожухами.

Для повного представлення можливої ситуації на об'єкті в районі його розміщення доцільно нанести на план місцевості границі зон руйнування у вогнищі ядерного ураження при заданій потужності боезапасу. Положення зон можливих руйнувань у можливому вогнищі ядерного ураження для розглянутого прикладу показано на рисунку 7.3.

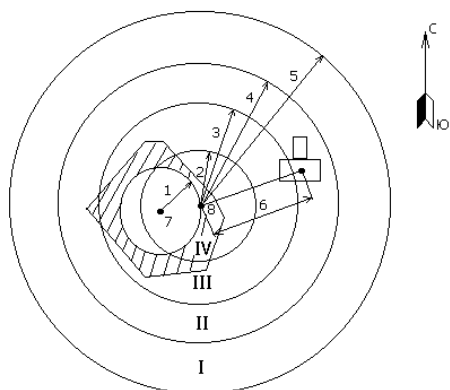
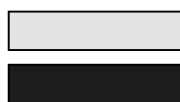


Рисунок 7.3 - Розміщення зон руйнувань у вогнищі ядерного ураження з центром на відстані  $R_x = 4,6 \text{ км}$  від об'єкту при наземному вибусі потужністю  $q=500 \text{ кг}$ . 5-  $R_{сл} = 9 \text{ км}$  - радіус зовнішньої границі зони слабких руйнувань; 4-  $R_{ср} = 5,5 \text{ км}$  те ж, середніх; 3-  $R_{сил} = 4,4 \text{ км}$  те ж, сильних; 2-

$$R_{повн} = 3,2 \text{ км} \text{ те ж, повних.}$$

Таблиця 7.5 - Результати оцінки руйнувань в наслідок ядерного вибуху.

Найменування цеху	Елементи цеха і їх коротка х-ка	Степінь руйнувань при $DP_{\phi}$ , кПа								Границя стійкості кПа	Вихід з ладу %	Примітка
		10	20	30	40	50	60	70	80			
Складальний	Будівля: Залізобетон									20	20	Межа стійкості 12 кПа.
	Технологічне обладнання: Легкі верстати									12	100	
	Комунально-енергетичні системи:									30	10	
		Трубопровід на металевих естакадах								30	10	
	Кабельні мережі наземні											



- слабкі руйнування  
- середні руйнування  
- повні руйнування  
- сильні руйнування



- слабкі руйнування  
- середні руйнування  
- повні руйнування

## 8 ЕКОЛОГІЯ

### 8.1 Загальні відомості про забруднення атмосфери

Досягнення науки і техніки, бурхливий розвиток науковий технічної революції, що впливають на всю сферу людської діяльності, вимагають подальшого удосконалювання керування, стилю і методів роботи, підвищення якості й ефективності управлінської праці.

Механізація й автоматизація праці вимагають від людей постійного підвищення своєї ділової кваліфікації, більш глибоких знань високих технологій.

Широке поширення мікроелектроніки, комп'ютерів індивідуального користування, могутніх засобів автоматизованої обробки тексту і графічної інформації, високоефективних пристроїв її збереження і пошуку, сучасних засобів зв'язку і мереж електронно-обчислювальних машин дозволяють деяким фахівцям порушувати питання про перспективи створення електронних офісів майбутнього.

Робота операторів, програмістів і просто користувачів безпосередньо зв'язана комп'ютерами, а відповідно з додатковими шкідливими впливами цілої групи факторів, що істотно знижує продуктивність їхньої праці.

Вивчення і вирішення проблем, зв'язаних із забезпеченням здорових і безпечних умов, у яких протікає праця людини - одна з найбільш важливих задач у розробці нових технологій і систем виробництва.

Вивчення і виявлення можливих причин виробничих нещасливих випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж, і розробка заходів і вимог, спрямованих на усунення цих причин дозволяють створити безпечні і сприятливі умови для праці людини.



Комфортні і безпечні умови праці - один з основних факторів впливають на продуктивність людей, які працюють з ПЕОМ.

Зараз практично в будь-якому офісі можна знайти комп'ютер. Він значно спрощує процес діловодства, але перш, ніж оснащувати цим приладом свій офіс, непогано було б довідатися про нього не багато побільше: ГОСТи, стандарти, вимоги, рекомендації, сумісність, екологічну безпеку і т.д.

Комп'ютер складається: з монітора (відеотерміналу - ВДТ), системного блоку і клавіатури.

Комп'ютер - (англ. Computer, від лат. computo - рахую, обчислюю), прийнята в науково-популярній і науковій (переважно англійської) літературі назва ЕОМ. Монітор - використовується для контролю якості телевізійного зображення в різних точках тракту його передачі. Основні вузли: кінескоп, відео підсилювач, декодуючий пристрій. Клавіатура - (нім. clavessin, від лат. clavis - ключ), комплект розташованих у визначеному порядку важелів - клавіш у музичних клавішних інструментах, у к.л. механізмі (друкарської машинки, обчислювально рахункової машини і т.д.)

## **8.2 Забруднення виробничого та навколишнього середовища відходами виробництва**

Під час свого функціонування обладнання, яким оснащуються комп'ютеризовані робочі місця, виробляє наступні забруднення:

- теплове;
- забруднення повітря пилом;
- іонізуюче випромінювання;
- електромагнітні випромінювання.

Теплове забруднення викликається тим, що комп'ютерне обладнання виділяє під час роботи значну кількість тепла, що призводить до підвищення

температури повітря у приміщенні та, як наслідок, до перегріву організму людини.

Під час перегріву у людини частішає пульс, частота дихання, з'являється слабкість, головний біль, збільшується температура тіла, що загрожує тепловим ударом.

Забруднення повітря пилом відбувається у кабельних коробах, де виділяється вуглекислий газ, окис вуглецю; у приміщенні операторного залу, де виділяється технологічний пил під час роботи обладнання. Особливу небезпеку щодо впливу на здоров'я представляє підвищена концентрація озону – високотоксичного подразнюючого газу. З цієї причини він був внесений у список речовин, максимальні значення концентрації яких на робочих місцях обмежені та строго визначені. Основними джерелами озону на комп'ютеризованих місцях є електронні променеві трубки моніторів (ЕПТ), лазерні принтери та копіювальні апарати.

Основним джерелом іонізованого випромінювання є електронні променеві трубки моніторів. Дослідження, проведені в Україні, підтвердили негативний вплив, зумовлений збільшенням кількості позитивних іонів на розумову та фізичну працездатність, розвиток втоми діяльність серцево-судинної системи, бронхо-легеневого апарату, кровотворення, вегетативної нервової системи.

Потенційним джерелом випромінювання кількох діапазонів електромагнітного спектру (рентгенівського, оптичного, радіочастотного) є дисплеї на основі електронних променевих трубок.

Встановлено, що джерелом рентгенівського випромінювання є екран, з інших сторін ЕПТ цього виду електромагнітного випромінювання взагалі не було виявлено. Найвищі рівні рентгенівського випромінювання зареєстровані при максимальній яскравості і при щільно заповненому екрані. Однак у всіх випадках випромінювання від ЕПТ не перевищувало фонового рівня.

Оптичні види випромінювання виникають завдяки взаємодії електронів з шаром люмінофору, нанесеного на екран дисплею. Область оптичного

випромінювання включає ультрафіолетове (УФ), світлове та інфрачервоне (ІЧ) випромінювання.

Проведені дослідження показали, що інтенсивності випромінювання в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній областях оптичного випромінювання є нижчими від допустимих значень.

### 8.3 Вимоги до моніторів (ВДТ) і ПЕОМ

Конструкція монітора (відеотермінального пристрою - ВДТ) повинна забезпечувати можливість фронтального спостереження екрана шляхом повороту корпусу в горизонтальній площині навколо вертикальної осі в межах  $\pm 300$  і у вертикальній площині навколо горизонтальної осі в межах  $\pm 300$  з фіксацією в заданому положенні. Дизайн моніторів повинен передбачати окраску в спокійні м'які тони з дифузійним розсіюванням світла. Корпус монітора і ПЕОМ, клавіатура повинні мати матову поверхню одного кольору з коефіцієнтом відображення 0.4-0.6 і не мати блискучих деталей, здатних створювати відблиски.

Конструкція ВДТ повинна передбачати наявність ручок регулювання яскравості і контрасту (на даний момент – внутрішнє цифрове меню), які забезпечують можливість регулювання цих параметрів від мінімальних до максимальних значень.

Таблиця 8.1-Візуальні ергономічні параметри ВДТ і межі їхніх змін

Найменування параметрів	Межі значень параметрів	
	Мінім. (не менш)	Максим. (не більш)
Яскравість знака (яскравість фону), кд/м <sup>2</sup> (вимірювана в темряві)	35	120
Зовнішня освітленість екрана, лк	100	250
Кутовий розмір знака, град.	16	60

Примітки:

1. Оптимальним діапазоном значень візуального ергономічного параметра називається діапазон, в межах якого забезпечується безпомилкове зчитування інформації при часі реакції людини-оператора, що перевищує мінімальне, встановлене експериментально для даного типу ВДТ не більше, ніж у 1.2 рази.

2. Допустимим діапазоном значень візуального ергономічного параметра називається діапазон, при якому забезпечується безпомилкове зчитування інформації, а час реакції людини-оператора перевищує мінімальне, встановлене експериментально для даного типу ВДТ не більше, ніж у 1.5 рази.

3. Кутовий розмір знака - кут між лініями, які з'єднують крайні точки знака по висоті й око спостерігача.

Кутовий розмір знака визначається по формулі:

$$a = \arctg (h/2 \times l),$$

де  $h$  - висота знака,  $l$  - відстань від знака до ока спостерігача.

4. Дані, приведені в даній таблиці, підлягають коректуванню в міру введення в дію нових стандартів, які регламентують вимоги і норми на візуальні параметри ВДТ.

Таблиця 8.2. Нормовані візуальні параметри ВДТ

Найменування параметрів	Значення параметрів
Контраст (для монохромних ВДТ)	Від 3:1 до 1,5:1
Нерівномірність яскравості* елементів знаків, %	не більше $\pm 25$
Нерівномірність яскравості** робітника полючи екрана, %	не більше $\pm 20$

## Продовження таблиці 8.2

Формат матриці знака для прописних букв і цифр (для відображення діакритичних знаків і малих літер з нижніми виносними елементами формат матриці повинен бути збільшений зверху чи знизу на 2 елементи зображення)	не менше 7*9 елементів зображення
Відношення ширини знака до його висоти для прописних букв	від 0.7 до 0.9 (допускається від 0.5 до 1.0)
Розмір мінімального елемента відображення (пікселя)*** для монохромного ВДТ, мм	0.3
Кут нахилу лінії спостереження, град	не більш 60 град нижче горизонталі
Кут спостереження, град	не більш 40 град від нормалі до будь-якої точки екрана дисплея
Допустимий горизонтальний зсув однотипних знаків, % від ширини знака	не більше 5
Допустимий вертикальний зсув однотипних знаків, % від висоти матриці,	не більше 5
Допустима просторова нестабільність зображення (тремтіння по амплітуді зображення) при частоті коливань у діапазоні від 0.5 до 30 Гц, мм	не більше $2L \times 10^{-4}$ (L - відстань спостереж., мм)

\* Дані, приведені в даній таблиці, підлягають коректуванню по мірі введення в дію нових стандартів, які регламентують вимоги і норми на візуальні параметри ВДТ.

\*\* Під нерівномірністю яскравості розуміють наступні відношення:

$U + = (L_{\max} - L_{\text{ср}}) / L_{\text{ср}}$  (позитивна нерівномірність);

$U - = (L_{\min} - L_{\text{ср}}) / L_{\text{ср}}$  (негативна нерівномірність);

$n$

$$L_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n L_i / n$$

$i=1$

де  $n$  - число вимірюваних значень яскравості;  $L_{\max}$  - максимальне значення яскравості;  $L_{\min}$  - мінімальне значення яскравості.

\*\*\* Розмір елемента зображення (пікселя) визначається фотометрично на рівні на рівні 50 % максимальної яскравості.

Монітор як і будь-який пристрій повинен відповідати визначеним вимогам і стандартам. Вимоги на монітори розділяють на дві основні групи стандартів і рекомендацій - по безпеці й ергономіці.

До першої групи відносяться стандарти UL, CSA, DHHS, CE, скандинавські SEMRO, DEMKO, NEMKO, а також FCC Class B. З другої групи найбільш відомі MPR-II, TCO'92, TCO'95, TCO'99, ISO 9241-3, EPA Energy Star, TUV Ergonomie. Характеристика деяких з них:

1. FCC Class B - цей стандарт розроблений канадською федеральною комісією з комунікацій для забезпечення прийняттого захисту навколишнього середовища від впливу радіоперешкод у замкнутому просторі. Устаткування, яке відповідає вимогам FCC Class B, не повинно заважати роботі теле- і радіо-апаратури.

2. MPR-II - цей стандарт був випущений у 1990 р. шведським національним департаментом і затверджений ЄЕС. MPR-II накладає обмеження на випромінювання від комп'ютерних моніторів і промислової техніки, використовуваної в офісі.

3. TCO'92 (TCO'95, TCO'99) - рекомендація, розроблена Шведською конференцією профспілок і Національною радою індустріального і технічного розвитку Швеції (NUTEK), регламентує взаємодію з навколишнім

середовищем. Вона вимагає зменшення електричних і магнітних полів до технічно можливого рівня з метою захисту користувача. Для того, щоб одержати сертифікат ТСО'9Х, монітор повинен відповідати стандартам низького випромінювання (Low Radiation), тобто мати низький рівень електромагнітного поля, забезпечувати автоматичне зниження енергоспоживання при довгому не використанні, відповідати європейським стандартам пожежної й електричної безпеки. Як видно з таблиці 8.3, вимоги ТСО'92 набагато жорсткіші ніж вимоги МРР-II. У 1995 р. вимоги ТСО стали набагато вимогливішими.

Таблиця 8.3 - Вимоги до робочих характеристик моніторів і ПЕОМ

Діапазон частот	Вимоги МРР-II (відстань 0.5)	Вимоги ТСО'92 (відстань 0.5)
<b>Електричне поле</b>		
Наднизькі (5 Гц – 2 кГц)	1.1.1.1 25 В/м	1.1.1.2 10 В/м
Низькі (2 кГц - 400 кГц)	2.5 В/м	1 В/м
<b>Магнітне поле</b>		
Наднизькі (5 Гц – 2 кГц)	250 нТ	200 нТ
Низькі (2 кГц - 400 кГц)	25 нТ	25 нТ

4. TUV Ergonomie - німецький стандарт ергономіки. Монітори, які відповідають цьому стандарту, пройшли іспити згідно EN 60950 (електрична безпека) і ZN 1/618 (ергономічна облаштованість робочих місць, оснащених дисплеями), а також відповідають шведському стандарту МРР-II.

5. EPA Energy Star VESA DPMS - відповідно до цього стандарту монітор повинен підтримувати три енергозберігаючі режими - очікування (stand-by), припинення (suspend) і "сон" (off). У режимі очікування зображення на екрані пропадає, але внутрішні компоненти монітора функціонують у нормальному режимі, а енергоспоживання знижується до 80% від робочого стану. У режимі

припинення, як правило, відключаються високовольтні вузли, а споживання електроенергії падає до 30 Вт і менш. І нарешті в режимі так названого “сну” монітор споживає не більш 8 Вт, а функціонує в нього тільки мікропроцесор. При натисканні будь-якої клавіші клавіатури або руху миші монітор переходить у нормальний режим роботи.

6. Російський стандарт ДСТ 27954-88 на відеомонітори персональних ЕОМ. Вимоги цього стандарту обов'язкові для будь-якого монітора, який продається в РФ. Основні вимоги приведені в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4- Вимоги стандарту ДСТ 27954-88

Характеристика монітора	Вимоги ДСТ 27954-88
Частота кадрів при роботі з позитивним контрастом	Не менше 60 Гц
Частота кадрів режиму обробки тексту	Не менше 72 Гц
Тремтіння елементів зображення	Не більше 0.1 мм
Антибликове покриття	Обов'язкове
Допустимий рівень шуму	Не більше 50 дБА
Потужність дози рентгенівського випромінювання на відстані 5 см від екрана при 41-годинному тижні	Не більше 0.03 мкР/с

Крім того, даним стандартом не допускається застосування вибухонебезпечних ЕПТ, регламентується ступінь деталізації технічної документації на монітори, а так само встановлюються вимоги стандартизації й уніфікації, технологічності, ергономіки і технічної естетики, екологічної безпеки, технічного ремонту й обслуговування, а також надійності. Монітори персональних комп'ютерів і робочих станцій при обов'язковій сертифікації тестуються по наступних параметрах:

1. Параметри безпеки - електрична, механічна, пожежна безпека (ГОСТ Р 50377 - 92).



2. Санітарно-гігієнічні вимоги - рівень звукових шумів (ГОСТ 26329-84 або ГОСТ 2718-88), ультрафіолетове, рентгенівське випромінювання і показники якості зображення (ГОСТ 27954-88).

3. Електромагнітна сумісність - випромінювані радіозавади (ГОСТ 29216-91).

Сертифікат видається тільки на весь комплекс перерахованих вище ГОСТів.

Також рекомендується наявність на екранах моніторів антистатичного покриття (antistatic coating) - яке перешкоджає виникненню на поверхні екрана електростатичного заряду, який притягає пил і несприятливо впливає на здоров'я користувача.

Таблиця 8.5 - Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань (параметри для дотримання обов'язкові)

Найменування параметрів (з 01.01.1997 р.)	Допустимі значення
<p>Напруженість електромагнітного поля на відстані 50 см навколо ВДТ по електричній складовій повинна бути не більше:</p> <p><b>n</b> у діапазоні частот 5 Гц - 2 кГц</p> <p><b>n</b> у діапазоні частот 2 - 400 кГц</p>	<p>25 В/м</p> <p>2.5 В/м</p>
<p>Густина магнітного потоку повинна бути не більше:</p> <p><b>n</b> у діапазоні частот 5 Гц - 2 кГц</p> <p><b>n</b> у діапазоні частот 2 - 400 кГц</p>	<p>250 нТл</p> <p>25 нТл</p>
<p>Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати</p>	<p>500 В</p>

## ВИСНОВКИ

Розвиток штучних нейронних мереж викликав немало ентузіазму і критики. Деякі порівняльні дослідження виявилися оптимістичними, інші - песимістичними. Для багатьох задач, таких як розпізнавання образів, поки не створено домінуючих підходів. Вибір кращої технології повинен диктуватися природою задачею. Потрібно намагатися зрозуміти можливості, передумови і область вживання різних підходів і максимально використовувати їх додаткові переваги для подальшого розвитку інтелектуальних систем. Подібні зусилля можуть привести до синергетичного підходу, який об'єднує штучні нейронні мережі з іншими технологіями для істотного прориву в рішенні актуальних проблем. Як недавно помітили вчені, прийшов час будувати системи за рамками окремих компонентів. Індивідуальні модулі важливі, але ми також потребуємо методології інтеграції. Зрозуміло, що взаємодія і спільні роботи дослідників в області штучних нейронних мереж і інших дисциплін дозволять не тільки уникнути повторень, але і (що більш важливе) стимулюють і додають нові якості розвитку окремих напрямів.

Завдання дипломної роботи полягало у розробці системи управління температурою в камері сушіння деревини на основі нейромережових технологій.

Створено автоматизовану системи управління температурою в камері сушіння деревини, що забезпечило повну автоматизацію управління температурою. Виконання завдання здійснювалось за допомогою середовища MatLab, яке завдяки прикладним програмам Neural Network Toolbox (NNT) і Simulink, дає змогу вирішувати задачі даного типу. Система є досить стійкою, навіть при впливі достатньо великих збурень на вході встановлюється правильне значення температури на виході.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Махотило К.В. Разработка методик эволюционного синтеза нейросетевых компонентов систем управления. Х.: ХГПИ, - 1998. - 179с.
- 2 Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. Пер. с англ. – Диа Софт, - 1992 - 184с.
- 3 Довідник працівника нафтогазового підприємства. Під. ред. Злотникова. Л.В. - К.: “Тов. РОСТОК” - 2001. - 1091с.
- 4 Примеры использования устройств автоматики в системах нефтегазового комплекса. Под. ред. Зимодро А.Ф., Скибинского Г.Л. - Л.: Энергоатомиздат, 1994. - 160 с.
- 5 Дорогов А.Ю., Алексеев А.А., Буторин Д.А. Нейронные сети со структурой быстрого алгоритма: Тезисы докладов Шестого Всероссийского семинара «Нейроинформатика и ее приложения». г.Красноярск, 20-25 октября 1998г - Под ред. А.Н.Горбаня, Красноярск, КГТУ, 1998 - С.53.
- 6 Солодовников А.И., Канатов И.И., Спиваковский А.М. Синтез ортогональных базисов на основе обобщенного спектрального ядра. // Вопросы теории систем автоматического управления: Межвуз. Сб. / Ленингр. Гос. Ун-т - Л., 1976 -Вып.2 -С.99-112.
- 7 Лабунец В.Г. Единый подход к алгоритмам быстрых преобразований // Применение ортогональных методов при обработке сигналов и анализа систем: Межвуз. Сб. / Уральск. Политехн. Ин-т - Свердловск, 1980 - С.4-14.
- 8 Дорогов А.Ю., Солодовников А.И. Перестраиваемые ортогональные базисы для адаптивных спектральных преобразований // «Методы и средства обработки пространственно-временных сигналов»: Межвуз. Сб. / Уральск. Политехн. Ин-т -Свердловск, 1988 - С.18-26.
- 9 Рабинер Л., Гоулд. Теория и примененение цифровой обработки сигналов: Пер. с англ - М.: Мир, 1978 - 848с.
- 10 Трахтман А.М.,Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах - М.: Сов.Радио, 1975 - 207с.

- 11 Писанецки С. Технология разреженных матриц. Пер. с англ - М.: Мир, 1988 -411с.
- 12 Дорогов А.Ю. Генезис слабосвязанных нейронных сетей. //Всеросс. Науч - техн. конф. «Нейроинформатика-99» г.Москва 20-22 января 1999г. Сб.науч.тр.Часть 1 -М.: 1999 -С.64-70.
- 13 Дорогов А.Ю. Структурные модели и топологическое проектирование быстрых нейронных сетей: Доклады международной конференции "Информационные средства и технологии" г.Москва, 21-23 октября 1997г., Т.1 - М., 1977 - С.264-269.
- 14 K. Warwick, C. Kambhampati, P. Parks and J. Mason, "Dynamic Systems in Neural Networks", Neural Network Engineering in Dynamic Control Systems, Springer, pp 27-41, 1995.
- 15 S. Mukhopadhyay, K. S. Narendra, "Disturbance Rejection in Nonlinear Systems Using Neural Networks", IEEE Transaction in Neural Networks, Vol. 4, pp 63-72, 1993.
- 16 M. M. Polycarpou, "Stable Adaptive Neural Control Scheme for Nonlinear Systems", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 41, pp 447-451, 1996.
- 17 J.J.E. Slotine and L. Weiping, "Applied Nonlinear Control", Prentice Hall, 1989.
- 18 D. A. White and D. A. Sofge, "Handbook of Intelligent Control: Neural, Fuzzy and Adaptive", VanNostrand Reinhold, 1992.
- 19 C. J. Harris, C. G. Moore and M. Brown, "Intelligent Control: Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets", World Scientific, Chap. 1.7 and 8, 1993.
- 20 H. Demuth, M. Beale, "Neural Network Toolbox for MatLab", The Mathworks, Version 3, 1998.
- 21 J. B. D. Cabrera and K. S. Narendra, "Issues in the Application of Neural Networks for Tracking Based on Inverse Control", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 44, pp 2007-2027, 1999.
- 22 D. S. Chen and R. C. Jain, "A Robust Back Propagation Learning Algorithm for Function Approximation", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 5, pp 467-479, 1994.

- 23 Pierre Baldi, "Gradient Descent Learning Algorithm Overview: A General Dynamical Systems Perspective", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 6, 1pp 182-195, 1995.
- 24 R. D. Brandt, F. Lin, "Adaptive Interaction and Its Application to Neural Networks", Elsevier, Information Science 121, pp 201-215 1999.
- 25 F. Lin, R. D. Brandt, G. Saikalas, "Self-Tuning of PID Controllers by Adaptive Interaction", IEEE control society, 2000 American Control Conference, Chicago, 2000.
- 26 F. Lin, R. D. Brandt, G. Saikalas, "Parameter Estimation using Adaptive Interaction", preprint, 1998.
- 27 D. G. Luenberger, "Optimization by Vector Space Methods", John Wiley and Sons, Chapter 7.3 - Fréchet Derivatives, 1963.
- 28 Программируемый логический контроллер ПИКОН-2. Руководство по эксплуатации. КОНЦЕРН "БЕЛЭНЕРГО". РУП "Белэлектромонтажналадка", -2004.
- 29 Расчет экономической эффективности в дипломных и курсовых проектах: Под общ. ред. Н.Н. Фонталина. - Мн.: Выш. шк., 1984. - 126 с.
- 30 Методичні вказівки до підготовки розділу "Охорона праці" у дипломних проектах і роботах/ Укл. К.Н. Ткачук, В.Г. Сторчак, Полукарпов О.І., Коз'яков В.С. - К.: КПІ,-1993 - 56с.

## ДОДАТОК А

### Програма функціонального блоку FB70

FUNCTION\_BLOCK FB70

VAR\_INPUT

T\_cyx\_Vx: INT; //Тс з давача

T\_mokr\_Vx: INT; //Тм з давача

Wolog\_Vx: INT; //Вологість деревини з давача (з ІВ)

Numb\_IB: INT; //Номер перетворювача ІВ

Vb\_Dav: BYTE; //Байт з ОС про вибір давачів для ведення процесу

Napr1: BOOL;

Napr2: BOOL;

Etap: INT;

DC: BLOCK\_DB;

UT: BLOCK\_DB;

Reset: BOOL;

DB\_Data: INT;

DB\_IW: BLOCK\_DB;

END\_VAR

VAR\_OUTPUT

Vb\_Dav1: BOOL; //Вибір 1 - го давача

Vb\_Dav2: BOOL; //Вибір 2 - го давача

Vb\_Dav3: BOOL; //Вибір 3 - го давача

Vb\_Dav4: BOOL; //Вибір 4 - го давача

Fi: REAL;

Delta: INT;

END\_VAR

VAR

NumbDatchik: INT;

Fi\_et: INT;

//Wol\_Per: REAL; //Вологість перерахована

Wol\_Sr: REAL; //Середня вологість деревини по вибраним давачам REAL

Tsuch\_Old: REAL;

Tmok\_Old: REAL;

Tcyx\_real: REAL;

Tmokr\_real: REAL;

Wol\_Per\_w: WORD;

Blokir: BOOL;

REQ: BOOL;

```

REQ1:      BOOL;
REQ2:      BOOL;
Yes_Wol:   BOOL;
Yes_Fi:    BOOL;
Yes_Delta: BOOL;
Nap1_old:  BOOL :=false;
Nap2_old:  BOOL := false;
Chas_perekl_old: BOOL := false;
Yes_etap:  BOOL := false;
Yes_zmina:  BOOL := false;
Wol:       fb21;
f_Fi:      fb103;
f_Delta:   Delta_from_Fi;
T_cyx:     AnSign; //Температура по сухому
T_mokr:    AnSign; //Температура по мокрому
Wol_In:    AnSign; //Вологість по і-му датчику
TimM1:     TimeRob; //Час на переключення (с)
ChasPerekl: Timer_M;
END_VAR
VAR_TEMP
Kict_dat:  INT;
W_Sr  :    REAL;
END_VAR
Yes_etap := Etap = 2 OR Etap = 3 OR Etap = 5;
IF( REQ OR Wol.Busy) THEN
    Wol( Tc:= Tcyx_real, In := Wol_In.Fiz, DB_Data := DB_Data, DB_IW := DB_IW);
    IF( Wol.Busy) THEN RETURN;
    else
        REQ    := false;
        Wol_Per_w := INT_TO_WORD(REAL_TO_INT(Wol.Wol * 10));
        Yes_Wol := true;
    END_IF;
END_IF;

IF( REQ1 OR f_Fi.Busy ) THEN
    f_Fi( Tc := REAL_TO_INT(Tcyx_real), Tm := REAL_TO_INT(Tmokr_real));
    IF(f_Fi.Busy) THEN RETURN;
    else
        REQ1    := false;
        Fi      := f_Fi.Fi;
        Yes_Fi  := true;
    
```

```

    END_IF;
END_IF;
IF( REQ2 OR f_Delta.Busy ) THEN
    f_Delta( Tc := Tcyx_real, Fi := WORD_TO_INT(UT.dw[86 + Fi_et]));
IF( f_Delta.Busy) THEN RETURN;
else
    REQ2    := false;
    Delta   := f_Delta.Delta;
    Yes_Delta := true;
    END_IF;
END_IF;

IF( Reset OR NumbDatchik > 4 OR NumbDatchik < 1 ) THEN
    NumbDatchik:= 1; Vb_Dav1 := true; Vb_Dav2 := false; Vb_Dav3 := false; Vb_Dav4 := false;
    TimM1(Start := false, Reset := true);
    ChasPerekl(start:= false,reset:= true);
    Blokir := false;
    REQ := false;
    REQ1:= false;
    REQ2:= false;
    Yes_Wol:= false;
    Yes_Fi := false;
    Yes_Delta:= false;
    Napr1_old := Napr1;
    Napr2_old := Napr2;
    RETURN;
END_IF;
IF( NOT Napr1_old AND NOT Napr2_old AND(Napr1 OR Napr2)) THEN Napr1_old := Napr1; Napr2_old := Napr2;
END_IF;
IF(NOT Yes_zmina AND T_cyx.Fiz > 0.0 AND ((Napr1 <> Napr1_old AND Napr1 = false ) OR (Napr2 <> Napr2_old
AND Napr2 = false ))) THEN
    Yes_zmina := true; ChasPerekl(start:= false,reset:= true);
    Tsuch_Old := T_cyx.Fiz; Tmok_Old := T_mokr.Fiz;
    Chas_perekl_old := true; Blokir := true;
END_IF;
    ChasPerekl(start:= Yes_zmina, chas:= t#480s, reset:= false);

T_cyx(Vh:= T_cyx_Vx,
    Dmax := Ust_Anal_Sign.Tsuch_Dmax,
    Dmin := Ust_Anal_Sign.Tsuch_Dmin,
    Kmax := Ust_Anal_Sign.Tsuch_Kmax,

```



```

    Kmin := Ust_Anal_Sign.Tsuch_Kmin);
T_mokr(Vh:= T_mokr_Vx,
    Dmax := Ust_Anal_Sign.Tmok_Dmax,
    Dmin := Ust_Anal_Sign.Tmok_Dmin,
    Kmax := Ust_Anal_Sign.Tmok_Kmax,
    Kmin := Ust_Anal_Sign.Tmok_Kmin);
Wol_In(Vh := Wolog_Vx,
    Dmax := Ust_Anal_Sign.Wol_Dmax,
    Dmin := Ust_Anal_Sign.Wol_Dmin,
    Kmax := Ust_Anal_Sign.Wol_Kmax,
Kmin := Ust_Anal_Sign.Wol_Kmin);
    IF(Chas_perekl_old <> ChasPerekl.Q AND ChasPerekl.Q = false) THEN
    Chas_perekl_old:= false; Yes_zmina := false; Blokir := false;
    DC.dd52 := REAL_TO_DWORD(Tsuch_Old - T_cyx.Fiz); //Kor_Temp_Such,
    DC.dd56 := REAL_TO_DWORD(Tmok_Old - T_mokr.Fiz); // Kor_Temp_Mok
    Napr1_old := Napr1;
    Napr2_old := Napr2;
END_IF;
IF(Blokir AND (T_cyx.Fiz < Tsuch_Old)) THEN Tcyx_real := Tsuch_Old; END_IF;
IF(Blokir AND (T_mokr.Fiz < Tmok_Old)) THEN Tmokr_real := Tmok_Old; END_IF;
IF(DWORD_TO_REAL(DC.dd52) > 0.0 AND NOT Blokir ) THEN
    Tcyx_real := T_cyx.Fiz + DWORD_TO_REAL(DC.dd52); //Kor_Temp_Such,
    Tmokr_real := T_mokr.Fiz + DWORD_TO_REAL(DC.dd56); // Kor_Temp_Mok
        ELSE Tcyx_real := T_cyx.Fiz; Tmokr_real := T_mokr.Fiz ;
END_IF;
    DC.dw16 := INT_TO_WORD(REAL_TO_INT(Tcyx_real * 10.0)); //Tsuch_In:
    DC.dw18 := INT_TO_WORD(REAL_TO_INT(Tmokr_real *10.0)); //Tmok_In
    DC.dw20 := INT_TO_WORD(REAL_TO_INT((Tcyx_real - Tmokr_real) * 10.0)); //Delta_T_In
TimM1(Reset := false, Start := true);
IF(TimM1.Real_Time >= Ust_Texnol_k1.UT_k1.Time_Perekl) THEN //if для давачів вологості
    IF( NOT Yes_Fi) THEN REQ1 := true; END_IF;
    IF( Yes_Etap AND NOT Yes_Delta) THEN REQ2 := true;
        IF( Etap = 2) THEN Fi_et := 0;
        ELSIF(Etap = 3) THEN Fi_et := 2;
        ELSIF(Etap = 5) THEN Fi_et := 4;
        END_IF;
END_IF;
IF( NOT Yes_Wol ) THEN REQ := true; RETURN; END_IF;
Yes_Wol := false;
Yes_Fi := false;
Yes_Delta := false;

```

```

TimM1(Start := false, Reset := true);
IF( NumbDatchik = 1) THEN
  DC.dw22 := Wol_Per_w; //W_Dav1_In
  Vb_Dav1 := false;
  NumbDatchik := 2;
  Vb_Dav2 := true;
  ELSIF( NumbDatchik = 2) THEN
  DC.dw24 := Wol_Per_w; //W_Dav2_In
  Vb_Dav2 := false;
  NumbDatchik := 3;
  Vb_Dav3 := true;
  ELSIF( NumbDatchik = 3) THEN
  DC.dw26 := Wol_Per_w; //W_Dav3_In
  Vb_Dav3 := false;
  NumbDatchik := 4;
  Vb_Dav4 := true;
  ELSIF( NumbDatchik = 4) THEN
  DC.dw28 := Wol_Per_w; // W_Dav4_In
  Vb_Dav4 := false;
  NumbDatchik := 1;
  Vb_Dav1 := true;
  Kict_dat:= 0; Wol_Sr := 0.0; W_Sr := 0.0;
  IF((Vb_Dav AND B#2#0000_0010) = B#2#0000_0010) THEN W_Sr := WORD_TO_INT(DC.dw22); Kict_dat:= 1;
END_IF;
  IF((Vb_Dav AND B#2#0000_0100) = B#2#0000_0100) THEN W_Sr := W_Sr + WORD_TO_INT(DC.dw24);
Kict_dat:=Kict_dat +1; END_IF;
  IF((Vb_Dav AND B#2#0000_1000) = B#2#0000_1000) THEN W_Sr := W_Sr + WORD_TO_INT(DC.dw26);
Kict_dat:=Kict_dat +1; END_IF;
  IF((Vb_Dav AND B#2#0001_0000) = B#2#0001_0000) THEN W_Sr := W_Sr + WORD_TO_INT(DC.dw28);
Kict_dat:=Kict_dat +1; END_IF;
  IF(Kict_dat > 0) THEN Wol_Sr := W_Sr/Kict_dat ; ELSE Wol_Sr := 0.0; END_IF;
  DC.dw30 := INT_TO_WORD(REAL_TO_INT(Wol_Sr)); //Wol_Sr_in
  END_IF;
END_IF; //end_if для давачів вологості
END_FUNCTION_BLOCK

```