

Тернопільський національний економічний університет

Турченко Ірина Василівна

УДК 004.75

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ДАНИХ
БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ СЕНСОРІВ В РОЗПОДІЛЕНИХ
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль - 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Тернопільському національному економічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Саченко Анатолій Олексійович,
Тернопільський національний економічний університет,
завідувач кафедри інформаційно-обчислювальних
систем і управління, науковий керівник Науково-
дослідного інституту інтелектуальних комп'ютерних
систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Святний Володимир Андрійович,
Донецький національний технічний університет,
завідувач кафедри електронно-обчислювальних машин

доктор технічних наук, професор
Погребенник Володимир Дмитрович,
Національний університет „Львівська політехніка”,
професор кафедри захисту інформації

Захист відбудеться *11 вересня 2008 р. о 14 год.* на засіданні спеціалізованої
вченої ради К58.082.02 Тернопільського національного економічного
університету за адресою м. Тернопіль, вул. Львівська, 11, корпус №11, зал
засідань.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Тернопільського національного
економічного університету (м. Тернопіль, вул. Львівська, 11)

Автореферат розісланий *8 серпня 2008 р.*

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

Яцків В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останнім часом все більшого розповсюдження набувають сенсори, вихідний сигнал яких одночасно залежить від декількох фізичних величин, так звані багатопараметричні сенсори (БПС). Це призвело до появи „активних” сенсорно-комп’ютерних систем (Войтович І.), особливістю яких є не тільки складні алгоритми обробки сенсорних даних, але й наявність засобів формування керуючих впливів на досліджуваний об’єкт або процес. Ці засоби задають динаміку та інтенсивність формування керуючих впливів в залежності від отримуваних сенсорних даних для збільшення обсягів, достовірності та покращення обробки інформації. Перевагою БПС є також значне зменшення затрат на створення сенсорно-комп’ютерних систем. Однак при цьому виникає задача визначення (розпізнавання) складових вихідного сигналу БПС, що характеризують окремі фізичні величини. Розробкою методів обробки даних БПС займалися Carone S., Zhang H., Llobet E., Ortega A., Martin M., Shaffer R. та ін. Значні потенційні можливості показали нейромережеві методи розпізнавання значень фізичних величин у сигналах, що поступають від масивів сенсорів. Однак актуальною задачею є дослідження нейромережевих методів обробки вихідних сигналів одиничних БПС.

Важливим є застосування БПС і „активних” сенсорно-комп’ютерних систем для контролю допустимої концентрації небезпечних газів, зокрема, метану CH_4 та чадного газу CO , в шахтних вентиляційних мережах (ШВМ). ШВМ досліджували Абрамов Ф., Фельдман Л., Святний В., Пучков Л., Карпов Е., Бабак Г., які показали, що позиційні керуючі впливи (КВ) призводять до значного перевищення допустимої концентрації метану при перехідному аерогазодинамічному процесі. Тому розробка методів формування КВ з метою не перевищення допустимої концентрації метану в ШВМ є також актуальною задачею. Для її вирішення перспективними є нейромережеві методи за рахунок їх добрих узагальнюючих властивостей.

Сенсорно-комп’ютерна система ШВМ має будуватися як ієрархічна розподілена комп’ютерна система (РКС) реального часу високої живучості. РКС з глибокою обробкою сенсорних даних займалися Iyengar S., Lee K., Daronte P., Палагін О., Николайчук Я., Саченко А. Вимоги ШВМ зумовлюють специфіку організації процесу обробки даних БПС, тому його доцільно розглядати як єдиний, цілісний процес, а задачу його вдосконалення – як комплексну задачу підвищення ефективності, яка полягає у підвищенні точності розпізнавання фізичних величин та підвищенні безпеки шахтного середовища за рахунок нових методів обробки вихідних сигналів БПС та формування КВ.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дисертаційна робота виконана в рамках теми ІОСУ-71-05К „Розробка і

дослідження технологій розпізнавання вихідного сигналу багатопараметричних сенсорів з використанням штучних нейронних мереж” (2005-2007 рр.), номер держреєстрації 0105U008182, двостороннього україно-італійського науково-дослідного проекту M/79-2004 „Development of WEB-based Instrumentation with Distributed Intelligence” (2004-2006 рр.), номер держреєстрації 0104U006975 та двостороннього україно-американського проекту CRDF CGP #UE2-2534-TE-03 „Investigation of the Intelligent Properties of Re-Configurable Network Capable Application Processor in Adaptive Distributed Instrumentation and Control Systems” (2004-2006 рр.), що виконувалися на кафедрі інформаційно-обчислювальних систем і управління Тернопільського національного економічного університету. Автор була відповідальним виконавцем теми ІОСУ-71-05К та виконавцем проектів M/79-2004 та CRDF CGP #UE2-2534-TE-03.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності обробки даних в розподілених комп’ютерних системах за рахунок нейромережових методів розпізнавання вихідних сигналів багатопараметричних сенсорів та формування керуючих впливів для ділянок шахтної вентиляційної мережі.

Для досягнення мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз характеристик перетворення БПС та методів розпізнавання їх вихідних сигналів;
- аналіз існуючих підходів до формування КВ, архітектур РКС та відповідних їм шляхів підвищення ефективності обробки даних БПС і формування КВ;
- розробка та експериментальні дослідження нейромережових методів розпізнавання вихідних сигналів БПС;
- розробка та експериментальні дослідження нейромережевого методу формування КВ для ділянки ШВМ;
- створення апаратно-програмних компонентів, що реалізують нейромережеві методи розпізнавання вихідних сигналів БПС та формування КВ.

Об’єкт дослідження – процеси обробки даних багатопараметричних сенсорів в розподілених комп’ютерних системах.

Предмет дослідження – нейромережеві методи розпізнавання вихідних сигналів багатопараметричних сенсорів та формування керуючих впливів.

Методи дослідження. Структурний та функціональний аналіз, чисельний аналіз, методи імітаційного та комп’ютерного моделювання, методи теорії штучних нейронних мереж (НМ), методи теорії вимірювань, систем керування та обчислювальних систем.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Вдосконалено метод обробки вихідного сигналу БПС, що відрізняється від відомих розпізнаванням масиву даних, отриманих у різних режимах

функціонування одиничного БПС, одномодульною НМ, що дозволило підвищити точність визначення окремих фізичних величин (середнє відносне відхилення розпізнавання в найгіршому випадку не перевищує 2%).

- Отримав подальший розвиток метод обробки вихідного сигналу БПС, що відрізняється від попереднього використанням багатомодульної НМ, кожен модуль якої обробляє окремі піддіапазони вихідного сигналу БПС, що дозволило додатково підвищити точність розпізнавання при одночасному зменшенні часової складності алгоритму навчання НМ та збільшенні необхідної пам'яті (для тримодульної НМ точність підвищено у 2 рази при зменшенні складності та збільшенні пам'яті у 3 рази).
- Запропоновано новий метод формування КВ для дільниці ШВМ, що відрізняється від відомих імітаційним моделюванням динаміки аерогазодинамічного середовища дільниці та знаходженням множини оптимальних навчальних векторів для НМ, яка формує КВ, що дозволило підвищити ефективність обробки даних за рахунок зниження більше ніж на порядок концентрації метану під час перехідного аерогазодинамічного процесу при зміні параметрів дільниці у широкому діапазоні.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці та впровадженні компонентів РКС:

- Апаратного та програмного забезпечення модуля збору, обробки даних і керування нижнього рівня з віддаленим перепрограмуванням для розпізнавання концентрацій CH_4 та CO на дільницях ШВМ по проекту М/79-2004.
- Програмного забезпечення сервера верхнього рівня, що взаємодіє з моделюючим сервісним центром, розробленим для вугільної промисловості, для обчислювальної підтримки функціонування модулів нижнього рівня.

Теоретичні та практичні результати роботи використані при викладанні дисциплін „Теорія нейронних мереж”, „Вимірювання, контроль, сертифікація комп'ютерних систем”, „Сенсори СКС” на кафедрі інформаційно-обчислювальних систем і управління Тернопільського національного економічного університету.

Особистий внесок здобувача. Усі теоретичні та експериментальні дослідження, розробка методів, моделей, алгоритмічного та програмного забезпечення виконані автором самостійно. Аналіз результатів окремих досліджень, розробка окремих схемних рішень і впровадження результатів дисертаційної роботи проведені у співавторстві згідно з наведеним нижче списком праць, в якому автору дисертаційної роботи належать: варіанти математичних моделей вихідних сигналів БПС [2, 6, 9, 12], методи розпізнавання вихідних сигналів БПС за допомогою одномодульної [2, 6] та багатомодульної НМ [6, 11], оцінка обчислювальної складності методів розпізнавання [6], статична імітаційна модель дільниці ШВМ [4, 13], імітаційна

модель ділянки ШВМ та результати імітаційного моделювання перехідних аерогазодинамічних процесів [4, 5, 14], структура та вимоги до мережевого прикладного процесора РКС [10].

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних конференціях та симпозиумах: „Мікропроцесорні пристрої та системи в автоматизації виробничих процесів” (Хмельницький, Україна, 2004), „IEEE International Conference on Intelligent Systems IS’2004” (Варна, Болгарія, 2004), „IEEE International Workshop of Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems IDAACS’2005” (Софія, Болгарія, 2005), „IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC/2006” (Сорренто, Італія, 2006), „International Conference “Modern Problems of Radio-Engineering, Telecommunications and Computer Science TCSET’2006” (Львів-Славсько, Україна, 2006), “International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence ICNNAI’2006” (Брест, Білорусь, 2006), „IEEE International Workshop of Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems IDAACS’2007” (Дортмунд, Німеччина, 2007).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 14 робіт загальним об’ємом 110 сторінок, з них 7 статей у фахових журналах (3 одноосібні), 7 праць в збірниках міжнародних науково-технічних конференцій.

Структура та об’єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, викладених на 132 сторінках основного машинописного тексту, списку використаних джерел (138 найменувань). Робота містить 81 рисунок, 15 таблиць та 15 додатків.

ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, показано її зв’язок з науковими програмами, сформульовано мету і завдання дослідження, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Наведено дані про впровадження результатів роботи та їх апробацію, особистий внесок автора та публікації.

У першому розділі проаналізовано структуру та функції „активних” сенсорно-комп’ютерних систем. Показано, що БПС, як один із видів інтелектуальних сенсорів, вимагає складної обробки вихідного сигналу. Проаналізовано види характеристик перетворення (ХП) БПС TGS-813, TGS-822 та обґрунтовано задачу визначення інформації, що міститься у вихідному сигналі БПС, як задачу розпізнавання. Обґрунтовано доцільність побудови математичної моделі вихідного сигналу БПС через складність та трудомісткість отримання великого набору реальних даних для проведення експериментальних досліджень, а також сформульовано вимоги до моделі та попередньо вибрано математичну залежність для її побудови.

Проведено аналіз відомих методів розпізнавання вихідного сигналу БПС.

Визначено критерії оцінки методів розпізнавання, по яких доцільно проводити аналіз рішень, зокрема точність, швидкість, простота навчання, вимоги до пам'яті, стійкість до викидів. Проаналізовано відомі методи розпізнавання „найближчого сусіда”, лінійного дискримінантного аналізу Махаланобіса та Байеса, гнучкого незалежного моделювання аналогій класу, штучних НМ на основі багатошарового перцептронів, імовірнісної НМ та квантування навчального вектора з використанням якісних та кількісних критеріїв для масиву сенсорів. Показано, що найкращі результати розпізнавання забезпечують методи на основі НМ.

Проаналізовано узагальнену структуру ШВМ та причини перевищення допустимої концентрації метану при перехідному аерогазодинамічному процесі на ділянці ШВМ через його нестационарність та наявність застійних зон. Показано, що відомі підходи до формування КВ по позиційному, пропорційному та ПД законам не приводять до безпечного зниження концентрації метану. Експериментально досліджено добрі потенційні можливості НМ для вирішення задачі формування КВ. Обґрунтовано створення імітаційної моделі ділянки ШВМ для проведення подальших досліджень.

Проаналізовано відомі архітектури РКС, що оперують сенсорними даними, та розподіл обчислювальних потужностей по рівнях цих систем. Оцінено архітектури відомих РКС контролю концентрації метану, обґрунтовано доцільність розділення функцій навчання та використання НМ на верхньому та нижньому рівнях РКС і виконання останнього на базі мікроконтролерів з метою забезпечення реального часу та живучості. Узагальнено процес обробки даних БПС в такій РКС та визначено складові підвищення ефективності обробки даних, зокрема підвищення точності розпізнавання окремих фізичних величин, підвищення безпеки шахтного середовища за рахунок відповідного формування КВ та забезпечення низької обчислювальної (часової) складності процесів обробки даних БПС. На основі цього сформульовано задачі дисертаційного дослідження.

У другому розділі розроблено математичні моделі вихідного сигналу БПС, методи розпізнавання на основі одномодульної та багатомодульної НМ, проведено їх імітаційне моделювання.

Для побудови математичної моделі вихідного сигналу БПС на основі сенсорів TGS-813 та TGS-822 виділено основні особливості їх ХП: (i) ХП можуть бути описані функціями двох змінних, (ii) ХП носять нелінійний характер, (iii) між видами ХП в різних режимах роботи існує значний кореляційний зв'язок. Крім досліджень паспортних параметрів ХП БПС, проведених в першому розділі, проведено дослідження індивідуальної ХП БПС шляхом чисельного аналізу результатів функціонування БПС TGS-813 у аерогазовому середовищі шахти Сілезького вугільного басейну (Польща). Вид

індивідуальних ХП БПС TGS-813 у двох режимах роботи при напругах живлення 4В і 5В (рис. 1) підтверджують наведені вище особливості.

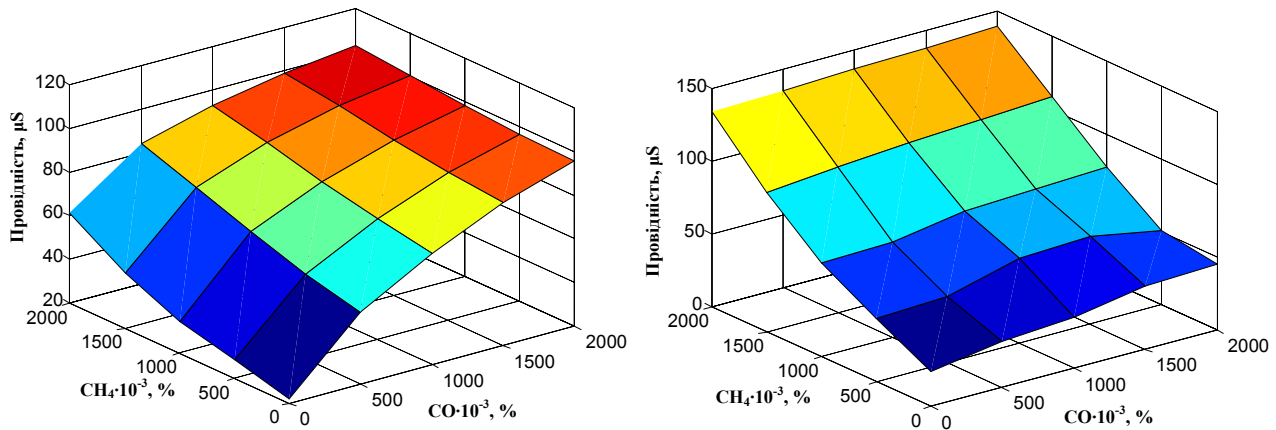


Рис. 1. Індивідуальні ХП БПС TGS-813

Базуючись на отриманих результатах досліджень, запропоновано математичну модель вихідного сигналу БПС у вигляді добутку двох поліномів різного порядку з різними коефіцієнтами:

$$Y = (A \times (X_1 + B)^k + C \times (X_1 + B)) \times (D \times (X_2 + E)^l + F \times (X_2 + E)) \times G,$$

де X_1 і X_2 – концентрації CO і CH₄; B, E – зміщення, що враховують початковий опір БПС, де k і l – порядок, A, B, C, D, E, F, G – коефіцієнти поліномів.

Для експериментальних досліджень методів розпізнавання вихідного сигналу БПС розроблено чотири варіанти імітаційних моделей, що охоплюють всі види комбінацій ХП БПС по різних фізичних величинах (рис. 2). Імітаційна модель представляє собою дві поверхні, верхня поверхня описує ХП БПС у першому режимі роботи, нижня – у другому режимі роботи. Імітаційна модель може описувати роботу одного БПС у різних режимах роботи або роботу двох різних БПС в певних визначених режимах роботи. Розподіл знаків першої та другої похідних поверхонь імітаційних моделей по обох координатах (фізичних величинах) згідно двох режимів роботи представлено в табл. 1.

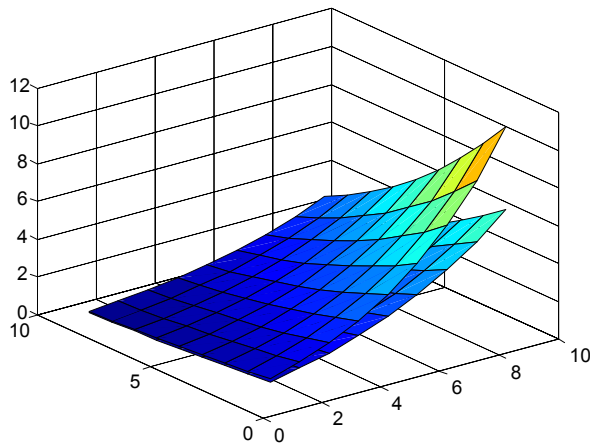
Таблиця 1.

Розподіл знаків похідних імітаційних моделей вихідного сигналу БПС

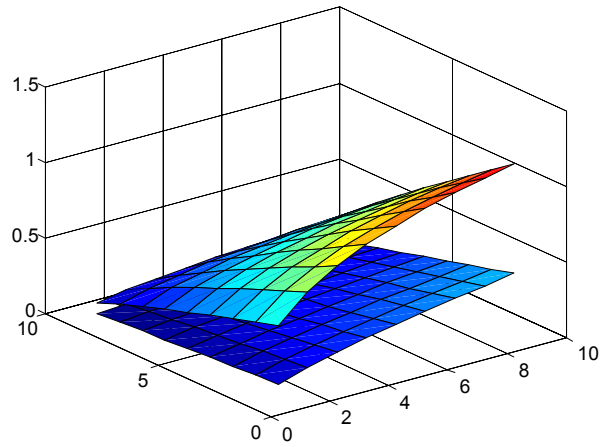
Фізичні величини	Режими роботи	Модель (i)		Модель (ii)		Модель (iii)		Модель (iv)	
		1 пох.	2 пох.	1 пох.	2 пох.	1 пох.	2 пох.	1 пох.	2 пох.
перша	1 реж.	+	+	+	–	+	–	+	+
	2 реж.	+	+	+	–	–	–	+	–
друга	1 реж.	–	+	–	–	–	–	–	+
	2 реж.	–	+	–	–	–	–	–	–

Досліджено метод розпізнавання вихідного сигналу БПС одномодульною НМ (рис. 3). На вхід НМ поступає значення вихідного сигналу БПС у двох

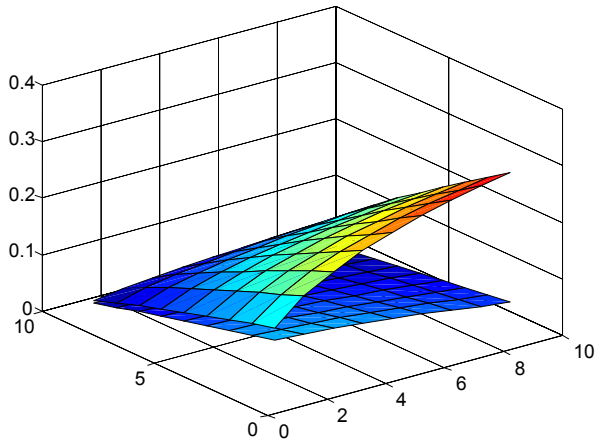
режимах роботи. На виході НМ продукує відповідні цим вихідним сигналам значення двох фізичних величин, що поступають на вхід БПС. Тому кількість вхідних та вихідних нейронів НМ дорівнює двом.



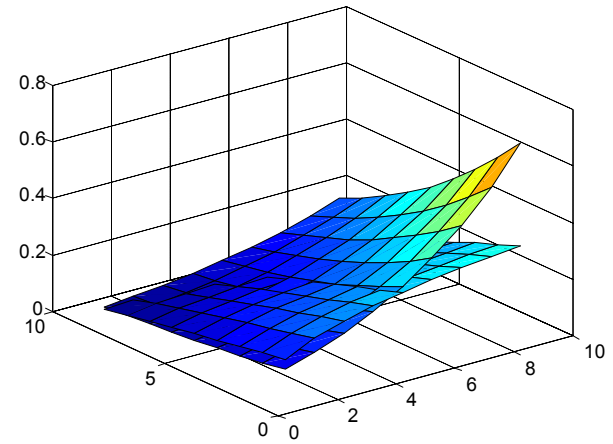
(а) Вид імітаційної моделі для варіанту (і)



(б) Вид імітаційної моделі для варіанту (ii)



(в) Вид імітаційної моделі для варіанту (iii)



(г) Вид імітаційної моделі для варіанту (iv)

Рис. 2. Варіанти імітаційних моделей вихідного сигналу БПС

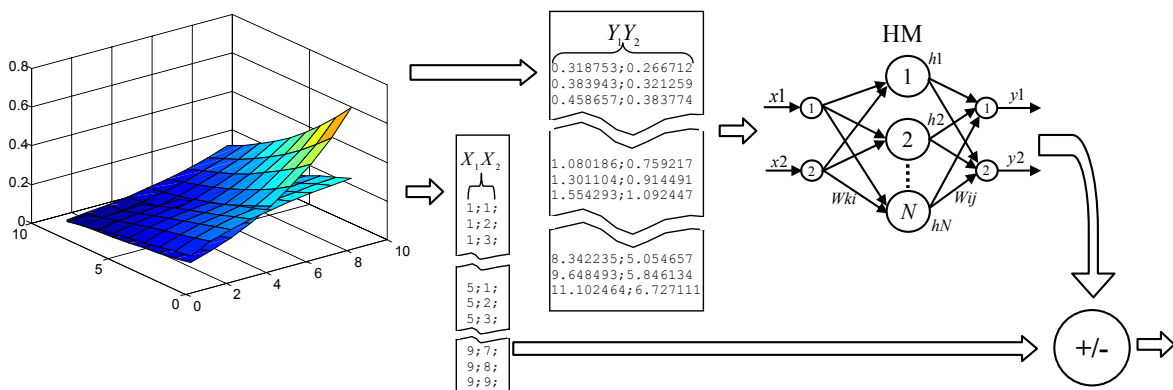


Рис. 3. Схема методу розпізнавання вихідного сигналу БПС одномодульною НМ

Обґрунтовано використання багатошарового перцептрона 2- N -2 як моделі НМ (рис. 4). Вихідне значення j -го нейрону останнього шару

$$y_j = F_3 \left(\sum_{i=1}^N w_{ij} h_i - T_j \right),$$

де $F_3(x)$ - функція активації нейронів вихідного шару, w_{ij} - ваговий коефіцієнт від i -го нейрону схованого шару до j -го вихідного нейрону, h_i - вихідне значення i -го нейрону схованого шару, T_j - поріг j -го вихідного нейрону.

Аналогічно вихідне значення i -го нейрону схованого шару

$$h_i = F_2\left(\sum_{k=1}^2 w_{ki} x_k - T_i\right),$$

де $F_2(x)$ - функція активації нейронів схованого шару, w_{ki} - ваговий коефіцієнт від k -го вхідного нейрону до i -го нейрону схованого шару, x_k - вхідне значення НМ, T_i - поріг i -го нейрону схованого шару. Для навчання НМ

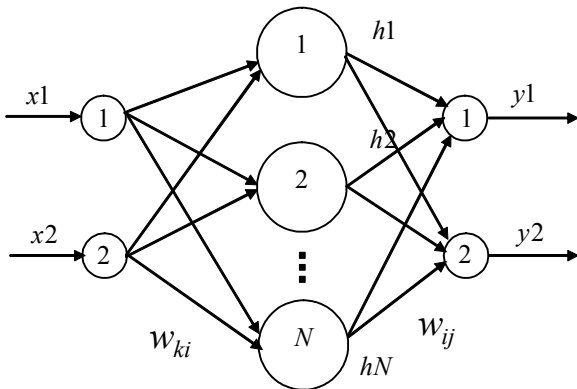


Рис. 4. Структура НМ розпізнавання сигналу БПС

використано алгоритм зворотного поширення помилки та алгоритм Левенберга-Марквардта. Експериментальні дослідження по вибору нейронів схованого шару на моделях (i)-(iv) показали, що модель 2-10-2 забезпечує найвищу точність - максимальне відносне відхилення розпізнавання менше 2%. Програмне забезпечення для імітаційного моделювання розроблено в середовищі MATLAB.

Аналіз числових параметрів математичних моделей (i)-(iv) та значень ХП БПС показав значне ускладнення моделей за рахунок збільшення діапазону зміни як вихідного сигналу БПС, так і значень вихідних фізичних величин. Тому діапазон математичних моделей (i)-(iv) доцільно розділити на піддіапазони і застосувати для кожного піддіапазону окремий модуль НМ (рис. 5). Використати модульний підхід дозволяє відсутність взаємозв'язку між значеннями вихідного сигналу БПС та фізичними величинами у розділених піддіапазонах. Оцінено сумарне відносне відхилення розпізнавання.

Як видно з результатів імітаційного моделювання, метод розпізнавання за допомогою багатомодульної НМ (рис. 6) дозволив зменшити максимальне відносне відхилення розпізнавання у 5-10 разів, а середнє відносне відхилення розпізнавання – щонайменше у 2 рази у порівнянні з методом одномодульної НМ (рис. 7) в обох режимах роботи БПС при навчанні НМ до значення середньоквадратичної помилки $SSE=10^{-5}$.

Із результатів досліджень (табл. 2) видно, що часова складність методу розпізнавання багатомодульною НМ приблизно у три рази менша від методу одномодульної НМ. Разом з тим, метод багатомодульної НМ вимагає збільшення пам'яті вузла обробки даних нижнього рівня пропорційно кількості модулів.

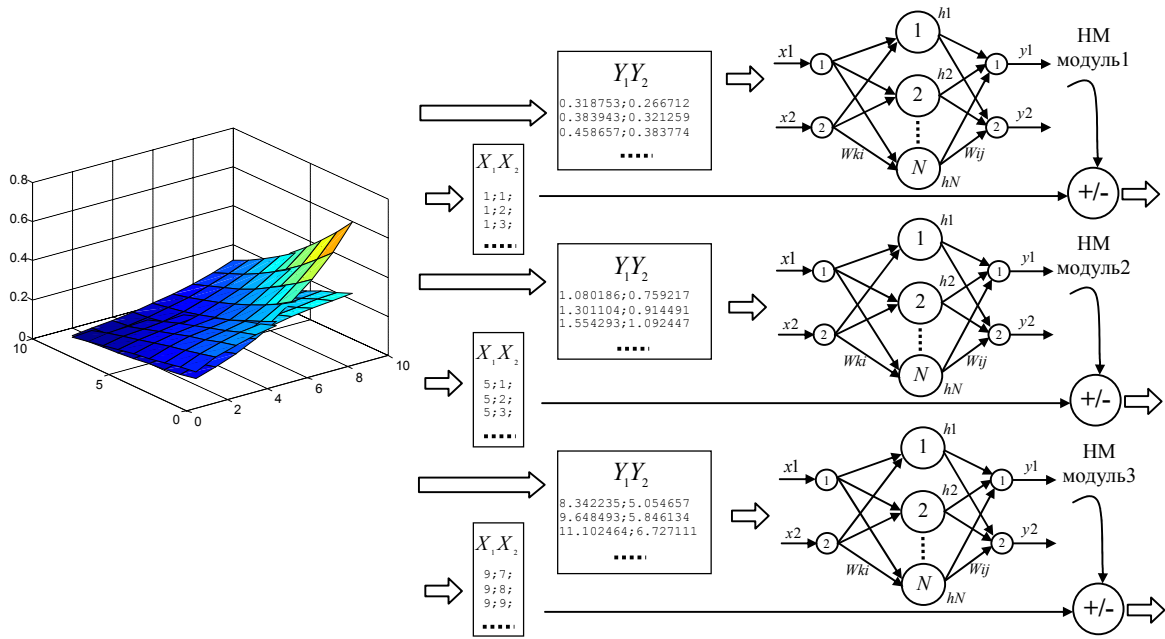


Рис. 5. Схема методу розпізнавання вихідного сигналу БПС багатомодульною НМ

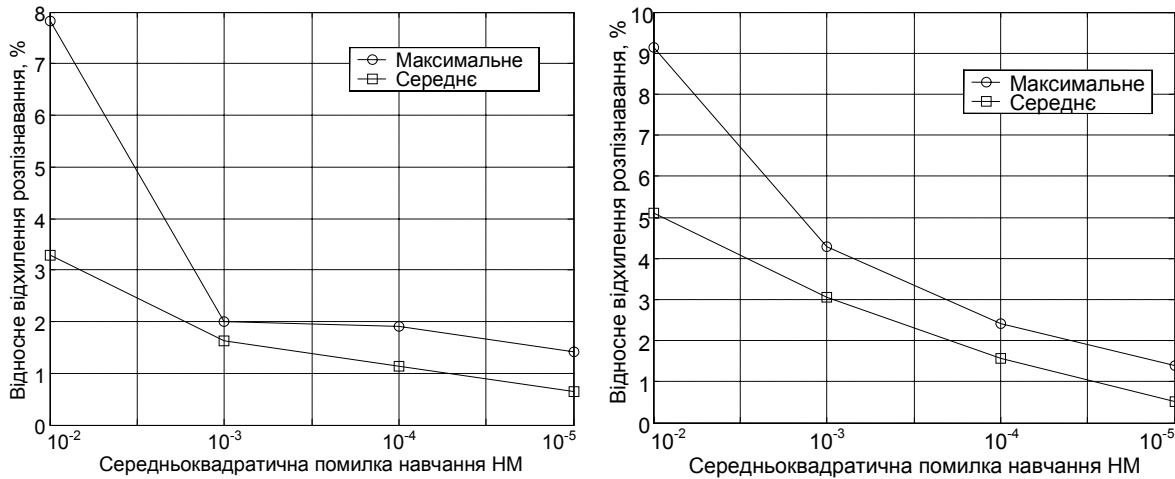


Рис. 6. Результати розпізнавання вихідного сигналу БПС методом багатомодульної НМ для першого (зліва) і для другого (справа) режимів

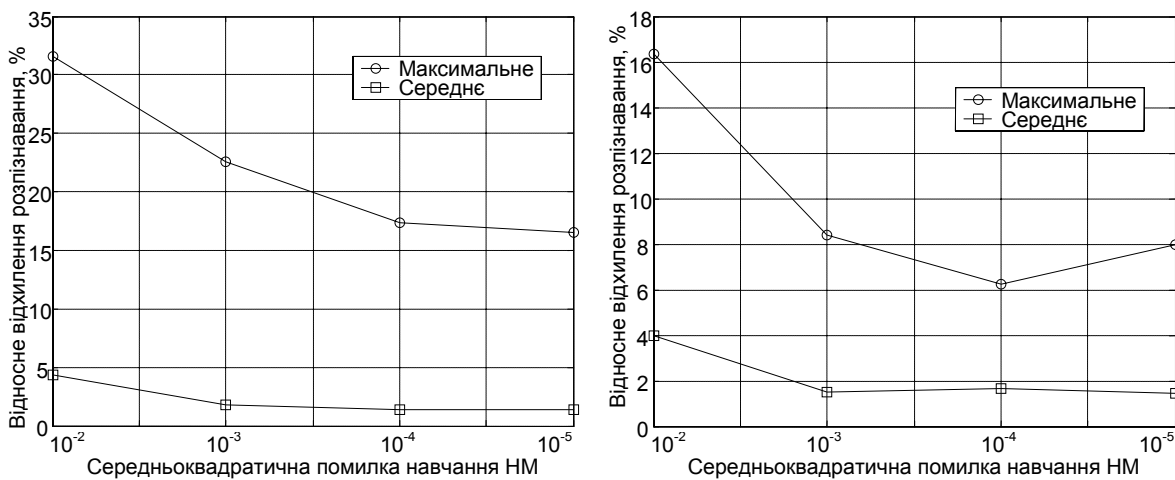


Рис. 7. Результати розпізнавання вихідного сигналу БПС методом одномодульної НМ для першого (зліва) і для другого (справа) режимів

Порівняння часової складності запропонованих методів

Кількість ітерацій навчання	Модель (i)		Модель (ii)		Модель (iii)		Модель (iv)		Середня кількість днів
	SSE=10 ⁻⁴	SSE=10 ⁻⁵	SSE=10 ⁻⁴	SSE=10 ⁻⁵	SSE=10 ⁻⁴	SSE=10 ⁻⁵	SSE=10 ⁻⁴	SSE=10 ⁻⁵	
Одномодульна НМ	2788	16641	3119	4741	184	229	915	4001	4077
Багатомодульна НМ	1010	5545	2113	587	145	155	583	830	1371

У третьому розділі досліджено імітаційну модель дільниці ШВМ та дію різних КВ, розроблено та досліджено нейромережевий метод формування КВ з використанням імітаційної моделі дільниці ШВМ.

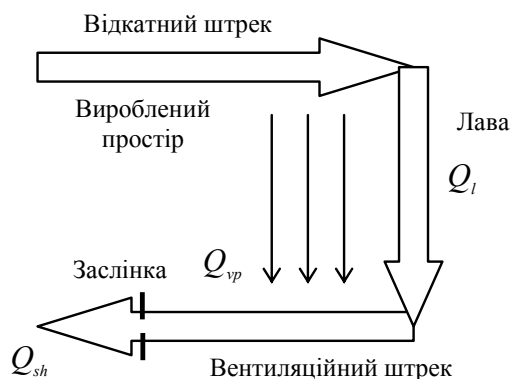


Рис. 8. Схема провітрювання видобувної дільниці з прямим ходом видобутку

Для побудови імітаційної моделі ШВМ використано одну із найбільш розповсюджених схем (рис. 8) провітрювання дільниці з прямим ходом видобутку та систему диференціальних рівнянь (1), запропоновану науковою школою проф. Святного В.А. з ДонНТУ. Система диференціальних рівнянь описує перехідні аерогазодинамічні процеси

формування потоку повітря Q на вході відкатного штрeku та динаміку дебету та витрати метану у виробленому просторі, лаві та вентиляційному штрeku:

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{dt} &= \frac{1}{k} (H - R \cdot Q \cdot |Q| - RR \cdot Q \cdot |Q|), \\ Q_m &= \frac{1}{T_m} \int (Q_{0m} - Q_m) dt + \frac{\beta}{T_m} Q^2, \\ \frac{dC_{vp}}{dt} &= \frac{1}{V_{vp}} (Q_m - (Q_m + Q_{vp}) \cdot C_{vp}), \\ \frac{dC_l}{dt} &= \frac{1}{V_l} (Q_{ml} - (Q_l + Q_{ml}) \cdot C_l), \\ \frac{dC_{sh}}{dt} &= \frac{(Q_{md} + Q_{mld} - (Q + Q_{mld} + Q_{md}) \cdot C_{sh})}{V_{sh}} \end{aligned} \quad (1),$$

де $k = \frac{\rho \cdot l}{S}$ – коефіцієнт інерційності, ρ – густина повітря, l та S – довжина та еквівалентний переріз дільниці; H – депресія, що створюється вентиляторами головного провітрювання; R та RR – аеродинамічні опори дільниці та заслінки; Q_m – дебет метану із виробленого простору; T_m – постійна часу; Q_{0m} – початковий об'єм метану у виробленому просторі;

β – питомий аеродинамічний опір виробленого простору; Q_{vp} – притік повітряно-метанової суміші на всій довжині вентиляційного штрeku; C_{vp} – концентрація метану у виробленому просторі; V_{vp} – об'єм виробленого простору; V_l – об'єм лави; Q_{ml} – об'єм метану в лаві; Q_l – об'єм повітря в лаві; C_l – концентрація метану в лаві; Q_{sh} – результуючий потік повітряно-метанової

суміші у вентиляційному штреку; C_{sh} - концентрація метану у вентиляційному штреку, Q_{md} – потік метану з виробленого простору, Q_{mld} – потік метану з лави, V_{sh} – об’єм вентиляційного штреку.

Імітаційну модель дільниці ШВМ реалізовано у середовищі Simulink пакету MATLAB. Графік перехідного аерогазодинамічного процесу зміни концентрації метану C_{vp} у виробленому просторі наведено на рис. 9б при подачі на вхід імітаційної моделі позиційного КВ (рис. 9а). Наявність “застійних зон”, де накопичується метан і суттєва нелінійність перехідних аерогазодинамічних процесів в дільниці ШВМ призводять до пікового збільшення концентрації метану при використанні позиційного КВ (різкому піднятті заслінки) у виробленому просторі (до 11%, що у 4.4 рази перевищує норму) та вентиляційному штреку (до 3.5%, що у 1.4 рази перевищує норму).

Досліджено формування експоненціального КВ (рис. 10а) виду

$$y(t) = Fst + Kp \cdot (1 - e^{-Dv \cdot t}), \quad (2)$$

де Fst – коефіцієнт зміщення, Kp – коефіцієнт пропорційності, Dv – показник швидкості наростання функції, що дозволяє усунути пікове збільшення концентрації метану C_{vp} у виробленому просторі (рис. 10б) до 3.12% (що у 1.2 рази перевищує норму), а концентрації метану C_{sh} у вентиляційному штреку до 1.14% (що у 2.2 рази менше норми).

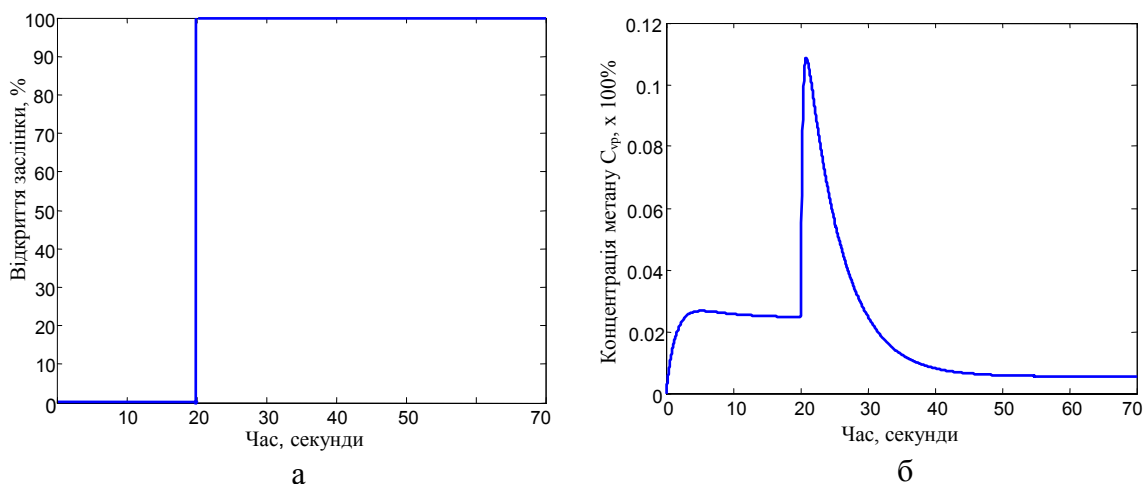


Рис. 9. Позиційний КВ (а) та перехідний аерогазодинамічний процес зміни концентрації метану C_{vp} у виробленому просторі (б)

Встановлено, що змінні параметри дільниці ШВМ H та V_{vp} найбільше впливають на перехідні аерогазодинамічні процеси. Визначено задачу формування експоненціального КВ – генерувати параметри Fst , Kp та Dv на основі тільки двох вхідних параметрів дільниці ШВМ H і V_{vp} та обґрунтовано архітектуру НМ (рис. 11), що використана для такого формування.

Як основний критерій оптимізації КВ запропоновано нерівність (рис. 12)

$$C_{vpMAX} \leq C_{vpSTR} + 0.1 \cdot C_{vpSTR}, \quad (3)$$

де C_{vpMAX} - максимальна концентрація метану під час перехідного аерогазодинамічного процесу, C_{vpSTR} - концентрація в момент початку провітрювання.

Визначено додаткові критерії оптимізації КВ: (i) мінімальне значення часу “повернення” $t_{RET} = t_{C_{vpRET}} - t_{C_{vpSTR}}$ концентрації C_{vp} до початкового C_{vpSTR} та (ii) допустима концентрація метану $C_{vpEND} \leq 1.5\%$ по закінченню перехідного аерогазодинамічного процесу.

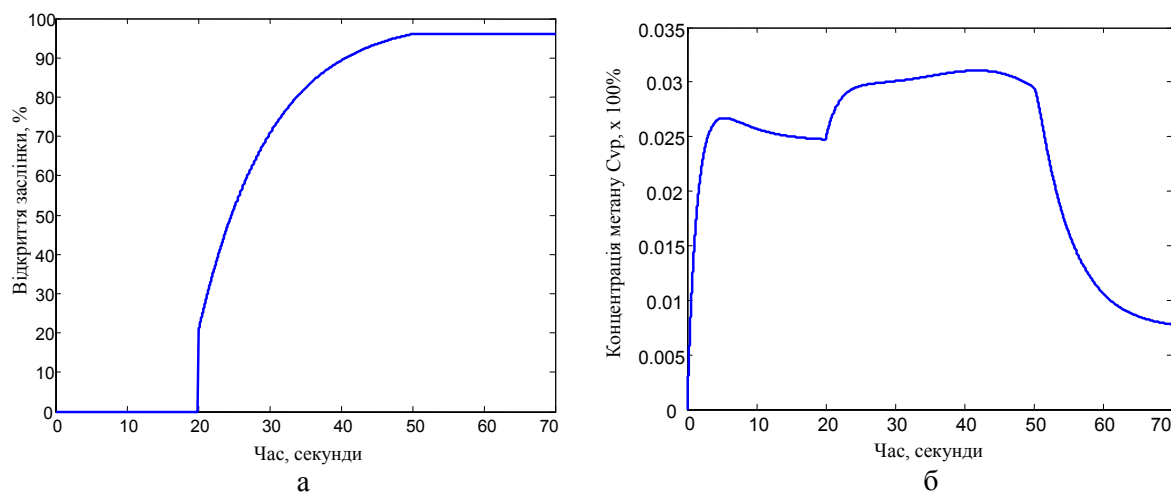


Рис. 10. Експоненціальний КВ (а) та перехідний аерогазодинамічний процес зміни концентрації метану C_{vp} у виробленому просторі (б)

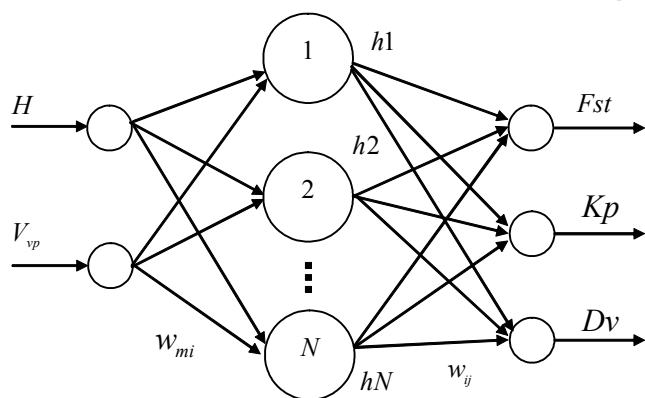


Рис. 11. Структура НМ для формування керуючих впливів

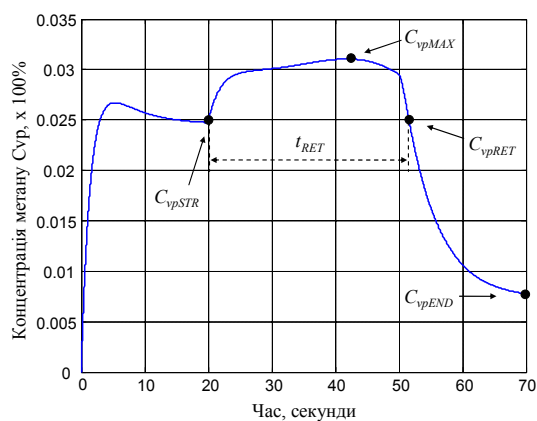


Рис. 12. Графічна інтерпретація визначення критеріїв оптимізації

Розроблено алгоритм знаходження множини оптимальних навчальних векторів для НМ формування КВ (рис. 13). Алгоритм реалізовано у середовищі MATLAB. По завершенні кожного циклу зміни Fst , Kp та Dv здійснюється сортування отриманих у циклі векторів КВ по значенню мінімального C_{vpEND} . Один із 10 кращих векторів, що знаходиться у вершині посортованого списку, інтерпретується як оптимальний для поточних значень H та V_{vp} , записується у вихідний файл, і цикл імітаційного моделювання повторюється. З вихідного

файлу сформована навчальна вибірка для навчання НМ розміром 77 навчальних векторів. Для досліджень використано багатошаровий перцептрон 2-30-3 (рис. 11), де кількість нейронів схованого шару визначена експериментальним шляхом. Відносне відхилення формування коефіцієнтів Fst , Kp та Dv на вибірці навчання становило 2.36%, 2.03% та 7.5% для кожного виходу НМ відповідно.

Оцінено результати імітаційного моделювання шляхом порівняння виходу імітаційної Simulink-моделі ШВМ в режимах використання (i) експоненціального КВ, сформованого НМ, та (ii) позиційного КВ. Визначено критерії порівняння

$$\Delta C_{vp} = C_{vpMAX} - C_{vpSTR}, \quad \Delta C_{sh} = C_{shMAX} - C_{shSTR}$$

як такі, що відображають відносне зростання відповідних концентрацій метану з початкового значення (у момент початку провітрювання) до максимального пікового значення, що прийме концентрація у відповідь на застосування відповідного КВ. Тестування НМ формування КВ проведено для 60 векторів з значеннями H та V_{vp} , що не входили у вибірку навчання. Аналіз розподілу зростання концентрацій метану при нейромережевому експоненціальному (рис. 14) та позиційному КВ (рис. 15) показав, що при нейромережевому експоненціальному КВ зростання відповідних концентрацій на порядок нижче.

У четвертому розділі розроблено архітектуру РКС обробки даних БПС для дільниці ШВМ (рис. 16), апаратне забезпечення модулів збору, обробки даних і керування МЗОДіК (рис. 17), структуру, апаратне та програмне забезпечення вузла обробки даних ВОД в рамках проектів М/79-2004 та CRDF CGP #UE2-2534-TE-03. Особливістю розробленого ВОД є його двох-процесорна архітектура та підтримка режиму дистанційного перепрограмування, що дозволяє замінювати програму роботи ВОД з сервера верхнього рівня без переривання його функціонування, забезпечити цілісність процесу обробки даних БПС і високу живучість.

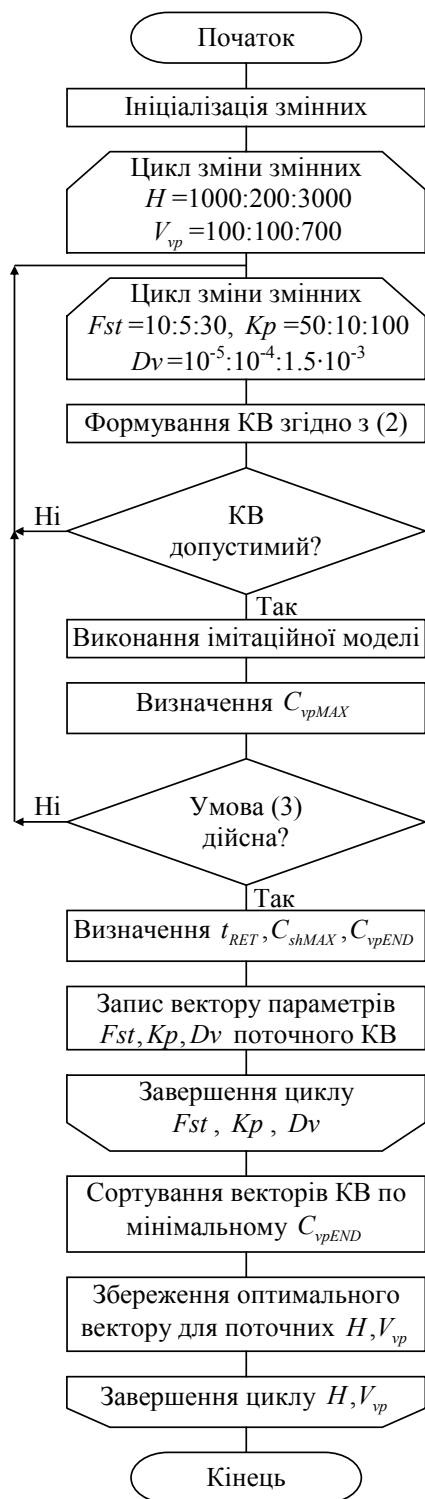


Рис. 13. Алгоритм знаходження множини навчальних векторів для НМ формування КВ

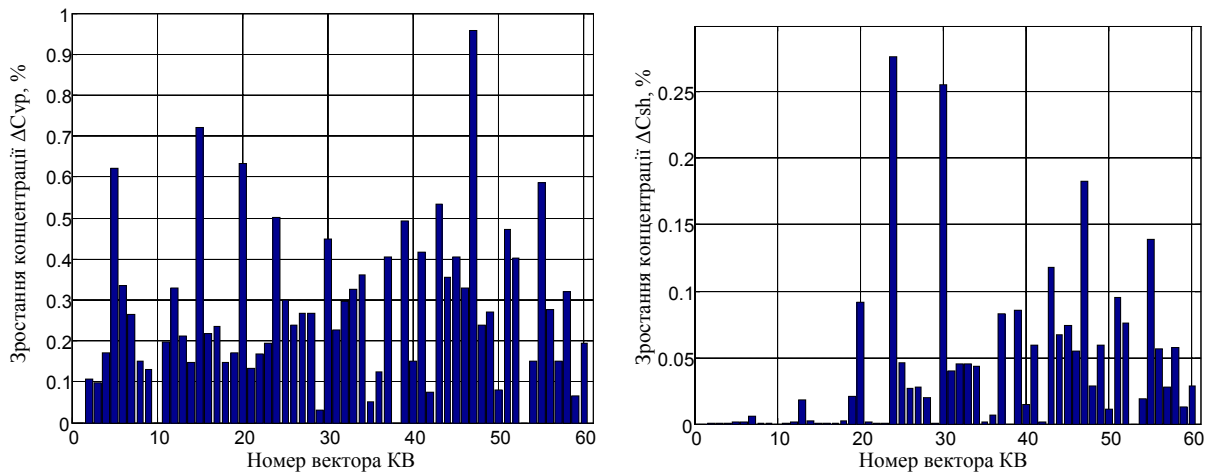


Рис. 14. Зростання концентрацій метану ΔC_{vp} та ΔC_{sh} при нейромережевому експоненціальному КВ

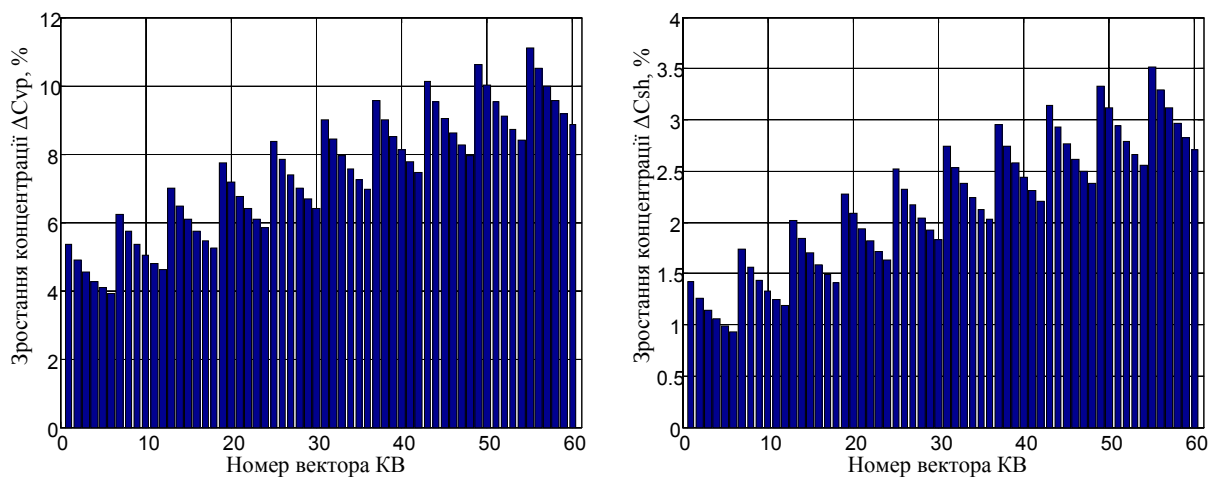


Рис. 15. Зростання концентрацій метану ΔC_{vp} та ΔC_{sh} при позиційному КВ

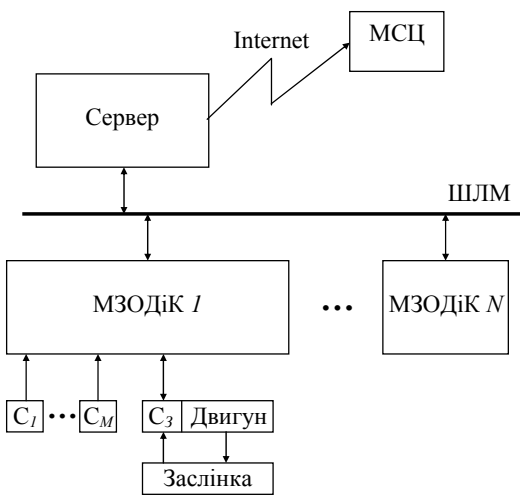


Рис. 16. Архітектура РКС

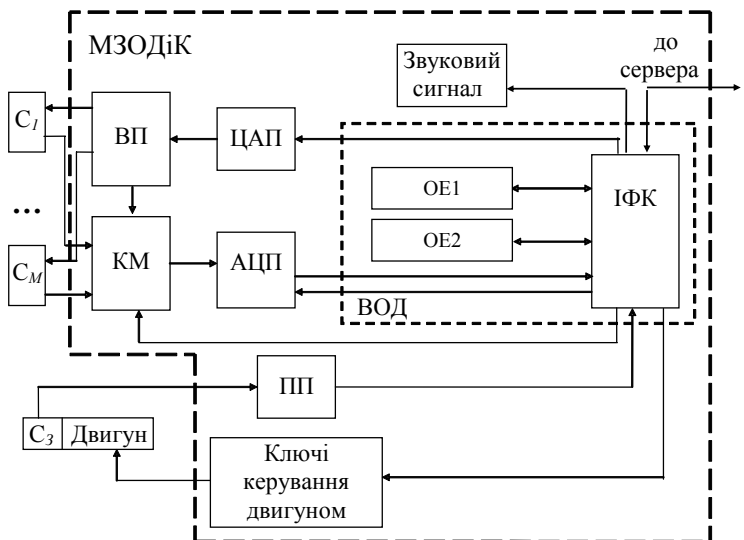


Рис. 17. Структура МЗОДіК

Розроблено програмне забезпечення сервера верхнього рівня РКС на мові програмування C++ у середовищі Windows, що здійснює функції формування математичних моделей вихідного сигналу БПС, навчання НМ розпізнавання вихідного сигналу БПС, налаштування імітаційної моделі та вибору параметрів

ШВМ, зв'язку з моделюючим сервісним центром МСЦ для вугільної промисловості з метою розрахунку імітаційної моделі ШВМ для генерації навчальної вибірки та навчання НМ формування КВ.

У додатках наведено програми модулів НМ розпізнавання вихідних сигналів БПС та формування КВ на мові MATLAB, імітаційна Simulink-модель дільниці ШВМ, програма оптимізації для генерації навчальної вибірки НМ формування КВ, принципова схема розробленого апаратного забезпечення, код програмного забезпечення верхнього рівня РКС, акти впровадження результатів наукових досліджень.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

На основі проведених в дисертації досліджень вирішено актуальну задачу підвищення ефективності обробки даних багатопараметричних сенсорів шляхом застосування нейромережових методів розпізнавання значень окремих фізичних величин та формування керуючих впливів для дільниці шахтної вентиляційної мережі. В роботі одержано наступні основні результати:

1. Проведено аналіз характеристик перетворення багатопараметричних сенсорів, методів розпізнавання значень окремих фізичних величин, підходів до формування керуючих впливів та архітектур розподілених комп'ютерних систем контролю концентрації небезпечних газів в шахтних вентиляційних мережах, що дозволило визначити процес обробки даних багатопараметричних сенсорів як єдиний цілісний процес та сформувавши основні критерії його ефективності.
2. На основі аналізу характеристик перетворення багатопараметричних сенсорів розроблено їх математичну модель та чотири імітаційні моделі, що дозволило дослідити шляхом імітаційного моделювання точність методів обробки вихідного сигналу багатопараметричного сенсора з урахуванням всіх варіантів відхилень характеристик перетворення від номінальної.
3. Вдосконалено метод обробки вихідного сигналу багатопараметричного сенсора, що відрізняється від відомих розпізнаванням масиву даних, отриманих у різних режимах його функціонування, одномодульною нейронною мережею, що дозволило підвищити точність визначення окремих фізичних величин (середнє відносне відхилення розпізнавання в найгіршому випадку не перевищує 2%).
4. Отримав подальший розвиток метод обробки вихідного сигналу багатопараметричного сенсора, що відрізняється від попереднього використання багатомодульної нейронної мережі, кожен модуль якої обробляє окремі піддіапазони вихідного сигналу сенсора, що дозволило додатково підвищити точність розпізнавання при одночасному зменшенні часової складності алгоритму навчання нейронної мережі та збільшенні необхідної

пам'яті. Для тримодульної нейронної мережі точність підвищено у 2 рази при зменшенні складності та збільшенні пам'яті у 3 рази.

5. Вдосконалено імітаційну модель дільниці шахтної вентиляційної мережі в середовищі Simulink, визначено параметри формування та вплив експоненціального та позиційного керуючих впливів на дільницю, що дозволило дослідити методи формування керуючих впливів шляхом імітаційного моделювання.
6. Запропоновано новий метод формування керуючих впливів для дільниці шахтної вентиляційної мережі, що відрізняється від відомих імітаційним моделюванням динаміки аерогазодинамічного середовища дільниці та знаходженням множини оптимальних навчальних векторів для нейронної мережі, яка формує керуючі впливи, що дозволило підвищити ефективність обробки даних за рахунок зниження більше ніж на порядок концентрації метану під час перехідного аерогазодинамічного процесу при зміні параметрів дільниці у широкому діапазоні.
7. Розроблено модуль збору, обробки даних і керування нижнього рівня розподіленої комп'ютерної системи, який за рахунок дистанційного перепрограмування забезпечує цілісний процес обробки даних багатопараметричних сенсорів згідно запропонованих методів, а також програмне забезпечення сервера верхнього рівня системи, що забезпечує обчислювальну підтримку функціонування модулів нижнього рівня за рахунок навчання відповідних нейронних мереж.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Турченко І.В. Підхід до розпізнавання сигналу багатопараметричного сенсора з використанням нейронних мереж / Турченко І.В. // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – Ч.1, Т.1. – С. 145-149.
2. Turchenko I. Neural-Based Recognition of Multi-Parameter Sensor Signal Described by Mathematical Model / Turchenko I., Kochan V., Sachenko A. // Computing. – 2004. – Vol. 3, Issue 2. – P. 140-147.
3. Турченко І.В. Підхід до нейромережевого управління об'єктом провітрювання / Турченко І.В. // Журнал Запорізького державного технічного університету "Радіоелектроніка. Інформатика. Управління". – 2005. – Том 2 (14). – С. 95-101.
4. Turchenko I. Simulation Modeling of Neural Control System for Section of Mine Ventilation Network / Turchenko I., Kochan V., Sachenko A. // Computing. – 2006. – Vol. 5, Issue 2. – P. 106-116.
5. Турченко І.В. Нейромережеве управління дільницею шахтної вентиляційної мережі / Турченко І.В., Кочан В.В., Саченко А.О. // Наукові праці Донецького національного технічного університету / Серія "Проблеми

- моделювання та автоматизації проектування динамічних систем". – 2006. – Випуск 5 (116). – С. 146-155.
6. Turchenko I. Accurate Recognition of Multi-Sensor Output Signal Using Modular Neural Networks / Turchenko I., Kochan V., Sachenko A. // *International Journal of Information Technology and Intelligent Computing*. – 2007. – Vol. 2, No. 1. – P. 27-47.
 7. Турченко І. Нейромережевий метод формування керуючих впливів в комп'ютерній системі контролю параметрів середовищ / Турченко І. // *Комп'ютинг*. – 2008. – Том 7, Вип. 1. – С. 58-69.
 8. Turchenko I. Simulation Modeling of Multi-Parameter Sensor Signal Identification Using Neural Networks / Turchenko I. // *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Intelligent Systems*. – Varna (Bulgaria), 2004. – Vol. 3. – P. 48-53.
 9. Turchenko I. Recognition of MPS Output Signal Described by Different Mathematical Models / Turchenko I., Kochan V., Sachenko A. // *Proceedings of the 3rd IEEE International Workshop of Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Application (IDAACS'05)*. – Sofia (Bulgaria), 2005. – P. 89-94.
 10. Kochan R. Network Capable Application Processor Based on a FPGA / Kochan R., Kochan V., Sachenko A., Maykiv I., Turchenko I., Markowsky G. // *Proceedings of the 22nd IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*. – Ottawa (Canada), 2005. – Vol. II. – P. 813-817.
 11. Turchenko I. Recognition of Multi-Sensor Output Signal Using Modular Neural Networks Approach / Turchenko I., Kochan V., Sachenko A. // *Proceedings of the International Conference "Modern Problems of Radio-Engineering, Telecommunications and Computer Science" TCSET'2006*. – Lviv-Slavsko (Ukraine), 2006. – P. 155-158.
 12. Turchenko I. Simulation Modeling of Neural-Based Method of Multi-Sensor Output Signal Recognition / Turchenko I., Kochan V., Sachenko A., Kochan R., Stepanenko A., Daponte P., Grimaldi D. // *Proceedings of the 2006 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC/06)*. – Sorrento (Italy), 2006. – P. 1530-1535.
 13. Turchenko I. Simulation Modelling of Neural Control System for Coal Mine Ventilation / Turchenko I., Kochan V., Sachenko A. // *Proceedings of the 4th International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI 2006)*. – Brest (Belarus), 2006. – P. 93-98.
 14. Turchenko I. Neural-based Control of Mine Ventilation Networks / Turchenko I., Kochan V., Sachenko A. // *Proceedings of the 4th IEEE International Workshop of Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Application (IDAACS'07)*. – Dortmund (Germany), 2007. – P. 219-224.

АНОТАЦІЯ

Турченко І. В. Методи підвищення ефективності обробки даних багатопараметричних сенсорів в розподілених комп'ютерних системах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. - Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, 2008.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності обробки даних багатопараметричних сенсорів в розподіленій комп'ютерній системі контролю концентрації метану у дільниці шахтної вентиляційної мережі. В дисертації вдосконалено методи обробки вихідного сигналу багатопараметричного сенсора шляхом зміни режиму його функціонування і розпізнавання отриманого масиву даних одномодульною та багатомодульною нейронними мережами, що дозволило підвищити точність визначення окремих фізичних величин (похибка розпізнавання менше 2% та 1% відповідно) та знизити часову складність алгоритму навчання нейронної мережі. Запропоновано новий нейромережевий метод формування керуючих впливів для дільниці шахтної вентиляційної мережі, що дозволило підвищити ефективність обробки даних за рахунок суттєвого зниження концентрації метану під час перехідного аерогазодинамічного процесу. Розроблено апаратне та програмне забезпечення модуля збору, обробки даних і керування нижнього рівня та програмне забезпечення сервера верхнього рівня розподіленої комп'ютерної системи, що реалізовує методи, запропоновані в дисертаційній роботі.

Ключові слова: розподілена комп'ютерна система, нейронна мережа, багатопараметричний сенсор, концентрація метану, дільниця шахтної вентиляційної мережі, керуючий вплив.

АННОТАЦИЯ

Турченко И. В. Методы повышения эффективности обработки данных многопараметрических сенсоров в распределенных компьютерных системах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Тернопольский национальный экономический университет, Тернополь, 2008.

Диссертационная работа посвящена повышению эффективности обработки данных многопараметрических сенсоров в распределенной компьютерной системе контроля концентрации метана на участке шахтной вентиляционной сети.

Проанализировано структуру и функции „активных” сенсорно-компьютерных систем, виды характеристик преобразования многопараметрических сенсоров и определена задача распознавания информации из их выходного сигнала. Проведен анализ известных методов распознавания выходного сигнала многопараметрических сенсоров, показано, что лучшие результаты распознавания обеспечивают нейросетевые методы. Проанализиро-

ваны причины возникновения превышения допустимой концентрации метана во время переходного аэрогазодинамического процесса на участке шахтной вентиляционной сети. Показано, что известные подходы к формированию управляющих воздействий не приводят к безопасному снижению концентрации метана. Проанализирована обобщенная структура шахтной вентиляционной сети и структуры известных распределенных систем контроля концентрации метана. Обобщен процесс обработки данных многопараметрических сенсоров и определены критерии повышения его эффективности.

Исходя из результатов анализа характеристик преобразования многопараметрических сенсоров, разработана математическая модель их выходного сигнала в виде произведения двух полиномов разного порядка с разными коэффициентами. Для экспериментальных исследований методов распознавания выходного сигнала многопараметрического сенсора разработано четыре варианта имитационных моделей, которые охватывают все виды комбинаций характеристики преобразования по разным физическим величинам. На вход нейронной сети поступает значение выходного сигнала сенсора в двух режимах работы. На выходе нейронная сеть генерирует значения двух физических величин, соответствующие этим выходным сигналам. Обосновано использование многослойного персептрона как модели нейронной сети. Программное обеспечение для имитационного моделирования разработано в среде MATLAB. Усовершенствован метод обработки выходного сигнала многопараметрического сенсора, который отличается от известных распознаванием массива данных, полученных в различных режимах функционирования единичного многопараметрического сенсора, одномодульной нейронной сетью, что позволило повысить точность определения отдельных физических величин (среднее относительное отклонение распознавания в наихудшем случае не превышает 2%). Получил дальнейшее развитие метод обработки выходного сигнала многопараметрического сенсора, который отличается от предыдущего использованием многомодульной нейронной сети, каждый модуль которой обрабатывает отдельные поддиапазоны выходного сигнала, что позволило дополнительно повысить точность распознавания (среднее относительное отклонение распознавания в наихудшем случае не превышает 1%) при одновременном уменьшении вычислительной сложности алгоритма обучения нейронной сети и увеличении необходимой памяти. Для трехмодульной нейронной сети точность повышена в 2 раза при уменьшении вычислительной сложности и увеличении необходимой памяти в 3 раза.

Исследована имитационная модель участка шахтной вентиляционной сети в среде Simulink пакета MATLAB на основе системы дифференциальных уравнений, которые описывают переходные аэрогазодинамические процессы формирования потока воздуха на участке. Существенная нелинейность этих процессов приводит к пиковому увеличению концентрации метана при использовании позиционного управляющего воздействия. Исследован процесс формирования экспоненциального управляющего воздействия, которое позволяет устранить пиковое увеличение концентрации метана. Определены изме-

няемые параметры участка, задача нейросетевого формирования экспоненциального управляющего воздействия, необходимая архитектура нейронной сети и критерии оптимальности управляющих воздействий. Предложен новый метод формирования управляющих воздействий для участка шахтной вентиляционной сети, который отличается от известных имитационным моделированием динамики аэрогазодинамической среды участка и нахождением множества оптимальных векторов обучения для нейронной сети, которая формирует управляющие воздействия, что позволило повысить эффективность обработки данных за счет снижения более чем на порядок концентрации метана во время переходного аэрогазодинамического процесса при изменении параметров участка в широком диапазоне.

Разработано аппаратное и программное обеспечение модуля сбора, обработки данных и управления нижнего уровня с удаленным перепрограммированием по проекту М/79-2004 и программное обеспечение сервера верхнего уровня, что взаимодействует с моделирующим сервисным центром, разработанным для угольной промышленности, для реализации методов, предложенных в диссертационной работе.

Ключевые слова: распределенная компьютерная система, нейронная сеть, многопараметрический сенсор, концентрация метана, участок шахтной вентиляционной сети, управляющее воздействие.

ABSTRACT

Turchenko I.V. Methods of Efficiency Improving for Multisensor Data Processing in Distributed Computer Systems. – *Manuscript.*

Dissertation of a Ph.D. (candidate of technical sciences) degree on specialty 05.13.05 – Computer Systems and Components. – Ternopil National Economic University, Ternopil, 2008.

The dissertation is devoted to the task of improvement the efficiency of multisensor data processing in distributed computer system of methane concentration control in a section of mine ventilation network. There are improved methods of multisensor output signal processing by changing its operational mode and recognition of gathered data array by single-module and modular neural networks, which allowed (i) to increase an accuracy of physical quantities definition (recognition errors are less than 2% and 1% respectively) and (ii) to decrease a computational complexity of neural network training algorithm. It is proposed neural-based method of control influences forming for the section of mine ventilation network, which allowed improving the efficiency of data processing by considerable decreasing the methane concentration during transient aerogasodynamical process. It is developed hardware and software of the module of data acquisition, processing and control of the lower level and server's software of the higher level of the distributed computer system, which implements the proposed methods.

Keywords: distributed computer system, neural network, multisensor, methane concentration, section of mine ventilation network, control influence.

Підписано до друку 04.08.2008р.
Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Папір офсетний. Друк на різнографі.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 140 прим. Зам. №1-7/08/08.

Віддруковано у видавництві “Економічна думка”
Тернопільського національного економічного університету
46009, м. Тернопіль, вул. Львівська, 3, тел. 43-22-18