

# МЕТОДИ І ЗАСОБИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ І ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

УДК 681.2+658.562

## ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В КОНТРОЛІ ФАЗОВОГО СКЛАДУ ГАЗОРІДИННОГО ПОТОКУ

*П.М.Райтер, М.О.Карнаш*

*ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, Карпатська, 15, тел. (03422) 46077,  
e-mail: [pete@ifdtung.if.ua](mailto:pete@ifdtung.if.ua)*

*Рассматривается методология использования нейронных сетей для обработки экспериментальных данных исследования взаимосвязи виброакустических сигналов трубопроводов с двухфазным потоком внутри с фазовой структурой этого потока. На основе результатов исследований предлагается разработка технических устройств, реализующих полученные алгоритмы нейросетей на базе использования цифровых сигнальных процессоров.*

*The methodology of use neural networks for processing experimental data of research of interrelation vibrate-acoustic signals of pipelines (with a twophase flow inside) with phase structure of this flow is considered. On the basis of results of researches the development of the technical devices realizing received algorithms neuronets on base use of digital signal processors is offered.*

Одним із завдань, яке необхідно вирішувати при оптимізації видобутку нафти та газу є забезпечення одержання своєчасної, вірної та вичерпної інформації про склад сировинного потоку із свердловини, про витрати окремих його фаз та їх співвідношення. Одним із можливих перспективних рішень цього завдання є розробка технічних пристроїв, які б давали вищезгадану інформацію і при цьому не спричиняли втрат тиску на контрольованих ділянках трубопроводів.

Тому, доцільною є розробка технічних пристроїв, інформаційними сигналами яких є сигнали від віброакустичних коливань, що поширюються у трубопроводі при проходженні всередині нього двофазового потоку.

В роботах [1,2] відзначалось, що при певних тисках, температурах та співвідношеннях фаз газорідних потоків останні виступають генераторами акустичних коливань високої інтенсивності (в стінках трубопроводу). Під впливом цих коливань трубопровід зазнає вібрацій, які супроводжуються поширенням акустичних коливань в його стінках. Інтенсивність цих коливань в різних частотних смугах їх інформативного спектру залежить від фазового складу потоку та від його технологічних параметрів - тиску, температури.

Мета дослідження, методологія якого і викладена в цій статті, полягає в експериментальній оцінці характеру та ступеня взаємозв'язку між витратами та співвідношеннями

фаз газорідного потоку і параметрами віброакустичних коливань трубопроводу, всередині якого рухається потік.

Експерименти проводились на газонафтовому стенді "Потік" Охтирського НГБУ в 1990 році. Даний стенд дає змогу моделювати рух реальних двофазових потоків свердловин при температурі навколишнього середовища і тиску до 4 МПа. Газова фаза (природний газ) подається з технічного колектора до або після газо-розподільної підстанції (залежно від тиску, який треба забезпечити на стенді). Відповідна витрата газової фази потоку задається за допомогою гребінки сопел критичного витікання із точністю 0.5% в силу того, що є відомими тиск та температура на вході та виході кожного із сопел, параметри яких є однаковими.

Рідка фаза потоку – суміш води та нафти. Ці два компоненти подаються самотоком з резервуарів по технологічних трубопроводах на ділянку вимірювання витрати нафти та води стенду. Вимірювання витрат здійснюється за допомогою турбінних витратомірів рідини з класом точності 1%. Після витратомірних ділянок обидва потоки подаються на вхід центробіжного насоса, яким здійснюється перемішування води та нафти та нагнітання отриманої суміші в газорідний змішувач, на який також подається і газова фаза. Отримана газорідна суміш подається на експериментальну вимірвальну ділянку трубопроводу діаметром  $D_y=100$  мм. Ця ділянка складається із трубних

вставок з фланцевими з'єднаннями. На вході і виході цієї ділянки для виключення впливу гідравлічних пульсацій ззовні, установлені гідравлічні демпфери. З вимірювальної ділянки газорідинна суміш подається на блок сепарації потоків і далі - на технологічні лінії НГВУ. Реєстрація показів витратомірів та задання подачі потоків здійснюється автоматизовано з операторної.

Вимірювальна ділянка експериментального трубопроводу при проведенні досліджень складалась із ділянки трубопроводу діаметром  $D_y=100$  мм довжиною 1.5 м з фланцевими з'єднаннями на торцях. В обидва фланцеві з'єднання було установлено гумові прокладки товщиною 8 мм з метою виключення впливу акустичних шумів, які передаються через стінки трубопроводу від технологічного обладнання. Безпосередньо перед вимірювальною ділянкою трубопроводу між фланцями з'єднання в трубопроводі установлено діафрагму товщиною 10 мм і з діаметром отвору  $D=76$  мм. Ціллю використання діафрагми було формування гомогенного турбулентного двофазового потоку. Втрати тиску контролювались за допомогою манометрів на вході та виході вимірювальної ділянки трубопроводу.

Для реєстрації віброакустичних коливань трубопроводу на нього на відстані 150 мм від діафрагми жорстко установили хомут з акселерометра фірми Briel&Kjaer 4370. Кріплення акселерометра здійснено за допомогою шпильки таким чином, що остання торкалася поверхні трубопроводу. Сигнал з датчика після проходження через попередній підсилювач записувався на вимірювальний магнітофон із частотною модуляцією і в подальшому в лабораторних умовах оброблявся за допомогою спектроаналізатора 2034 фірми Briel&Kjaer. Дослідження приведено при таких витратах двофазових потоків: по газу - від 229 до 679 м<sup>3</sup>/год, по рідкій фазі - від 4,1 до 10 м<sup>3</sup>/год.

Реєстрація віброакустичних коливань для кожного з режимів подачі різних співвідношень фаз потоку здійснювалась протягом 3 хв. За допомогою спектроаналізатора з роздільною здатністю 8 Гц для кожної реалізації сигналу було отримано енергетичний спектр щільності сигналу в діапазоні 0-6400 Гц або 0-3200 Гц.

Кожний енергетичний спектр сигналу реалізації містить 800 частотних складових і є по суті вектором. Кожний з восьмиеста елементів цього вектора є його параметром. Існує необхідність проаналізувати зв'язок між кожним з цих параметрів та структурою потоку, що протікає в трубопроводі. Слід зазначити також, що проаналізувати потрібно велику кількість таких спектрів. Аналіз літературних першоджерел [3, 4] показав доцільність використання для обробки великого обсягу багатопараметричних експериментальних даних алгоритмів штучних нейронних мереж.

Нейронні мережеві моделі - це складні мережі, які побудовані на зв'язках кількох обчислювальних елементів або вузлів. Обчислювальні елементи типово нелінійні і зв'язані че-

рез ваги, які можуть бути підібрані ітераційно з метою покращання ефективності. Кожний простий вузол виконує сумування зважених ввідів і перетворює суму в сигнал виводу, який є нелінійною функцією результату. На рис. 1 показано схематичне зображення двошарової нейронної мережі (перший шар не враховується для визначення кількості шарів мережі, оскільки він не виконує сумування, а використовується виключно для розподілення вхідних сигналів).

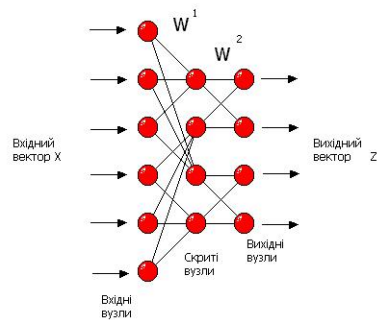


Рисунок 1 – Двошарова мережа

Однією з мереж, яка була глибоко проаналізована і яка є на даний момент найбільш зрозумілою, це - перцептрон. В найбільш простій формі перцептрон складається з одного рівня вузлів, зв'язаних із єдиним вузлом виводу через ваги під'єднання. Класифікація сигналу виконана першим обчисленням зваженої суми

$$y = \sum_{i=0}^{N-1} (\omega_i x_i) - \theta, \quad (1)$$

де  $\omega_i$  - є вагою взаємозв'язку, що відповідає вводу  $x_i$ , і  $\theta$  - поріг. Класифікація виконана, призначаючи сигнал до класу 1, якщо  $y > 0$ ; в іншому випадку сигнал призначається до класу 2. Однією із складностей із сприйняттям є те, що, коли класи лінійно невіддільні в просторі властивостей - алгоритм не буде сходиться. Те, що алгоритм не буде сходиться означає, що мережа ніколи не прийде до єдиного вірного результату, а натомість або дасть невірний результат, або постійно буде видавати різні результати. В більшості практичних ситуацій класи рідко лінійно віддільні. Очевидно, що для визначення витрати фаз потоку потрібно використовувати нелінійні межі рішень, які можуть бути отримані при використанні багатошарової мережі. Проміжні шари виділяють більш високі ступені кореляції у сигналах і загалом можуть створювати будь-яку поверхню розв'язку [5].

При розробці нейронної мережі вхідними (незалежними змінними) для нейромережі є значення амплітуд частотних складових спектру сигналу (до 800), а вихідними - значення витрати газової та рідинної фаз потоку (2 змінні).

Розроблювана мережа тренується, щоб для певної множини входів давати бажану (або близьку до бажаної) множину рішень. Тренування здійснюється шляхом послідовного представлення вхідних векторів з одночасним підлаштуванням ваг відповідності з певним алгоритмом. В процесі тренування ваги мережі

поступово стають такими, щоб кожен вхідний вектор виробляв відповідний вихідний вектор. Тобто, в нашому випадку потрібно так навчити мережу (подати таку кількість різних вхідних векторів), щоб ці вхідні вектори утворили якомога ширше поле можливих значень вхідних величин. Одночасно на вихід мережі кожного разу (при тренуванні) потрібно подавати значення витрати фаз потоку. Таким чином реалізується алгоритм навчання нейромережі “зі вчителем”.

У випадку розробки такої мережі є можливість її втілення в технічні засоби контролю фазового складу газорідних потоків на основі використання сучасних цифрових сигнальних процесорів. Після тренування при подачі на вхід апаратно реалізованої мережі вхідного вектора, відмінного від “навчальних”, вона видасть значення витрат двох фаз потоку.

Схема алгоритму обробки інформаційних сигналів віброакустичних датчиків трубопроводу з контрольованим потоком всередині за допомогою спеціально розробленої пристрою, призначеного визначати фазовий склад багатofазового потоку, наведена на рис.2.



**Рисунок 2 – Схема універсальної автоматичної системи визначення фазового складу багатofазового потоку в трубопроводі**

Попередня обробка експериментальних даних виявила недоліки нейромереж, а саме: проблеми із ефективністю запам'ятовування при тренуванні, можливість помилки зумовлена недостатньою різноманітністю вхідних даних при тренуванні мережі, можливий “параліч” мережі із некоректності вхідних даних. Для

подолання наведених вище проблем доцільно використовувати спеціалізовані пакети прикладних програм розробки нейромереж.

**Висновки**

1. Нейронні мережі можна ефективно використовувати для аналізу оцифрованих сигналів віброакустичних датчиків для контролю структури двофазового газорідного потоку.

2. Паралелізм в обчисленнях, властивий нейронним мережам, може забезпечити високий рівень якості та швидкості обробки великих обсягів даних, отриманих при дослідженнях двофазових потоків всередині трубопроводів за допомогою віброакустичних датчиків.

3. Ефективність роботи створеної нейронної мережі значною мірою залежить від баз даних, використовуваних для їх навчання. Тому при проведенні реальних експериментів та реєстрації інформаційних сигналів необхідно чітко дотримуватись правил постановки факторного експерименту. У випадку недотримання цих правил шукана залежність не буде виявлена.

4. Проблему створення нейронної мережі (в смислі її архітектури та алгоритму навчання) планується вирішувати за допомогою сучасних потужних прикладних пакетів програм MATLAB та Deductor Pro.

*Література*

1. Блохинцев Д.И. Акустика неоднородной движущейся среды. - М.: Наука, 1981. – 206 с.
2. Райтер П.М. Розробка та дослідження віброакустичного методу та системи контролю фазового складу газоконденсатного потоку. /Дис. канд.техн.наук. –Івано-Франківськ, 1995. - 170 с.
3. S.S. Udpa. Signal processing for eddy current nondestructive evaluation // Signal Processing and Pattern Recognition in Nondestructive Evaluation of Materials. Vol. F44, 1988, pp. 129-144.
4. P. Ramuhali, L. Udpa, S.S. Udpa. An automatic signal classification system for ultrasonic weld inspection signals // Materials Evaluation. January 2000, pp. 65-69.
5. L. Udpa, S.S. Udpa. Eddy current defect characterization using neural networks // Materials Evaluation. 48, March 1990, pp. 342-347.