

ОЦІНКА СТАНУ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ ПІДЗЕМНИХ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ПРОФІЛЮ НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НАД НИМИ

© Костів Б.В., Кісіль І.С., Боднар Р.Т., 2007

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Розглянуто технічні засоби, за допомогою яких можна вимірювати профіль горизонтальної складової напруженості магнітного поля над трубопроводами, складена модель нейронної мережі, яка дозволяє визначити значення сили струму в стінках трубопроводу та глибину його залягання, проаналізовано вплив на результати обчислень неточності вимірювання профілю напруженості

При експлуатації підземних нафтогазопроводів найчастіше в них зустрічаються дефекти, які викликані корозійними процесами, в результаті чого має місце зменшення товщини стінок труб.

Контроль підземних нафтогазопроводів можна проводити контактними або безконтактними методами. Незважаючи на складність, безконтактні методи контролю більш поширені [1].

Однак точність отриманих результатів контролю в значній мірі залежить від рівня підготовки оператора, оскільки в процесі вимірювання необхідно визначити вісь трубопроводу, а також певним чином орієнтувати пристрій контролю відносно осі трубопроводу.

Запропонована в даній статті методика дозволяє зменшити вплив оператора на процес вимірювання, виключити необхідність знаходження осі підземного трубопроводу. За допомогою такої методики можна отримати значний набір вхідних даних, що суттєво зменшить випадкові похибки.

Суть методики полягає у реєстрації профілю напруженості магнітного поля над трубопроводом і подальшому визначенні значення сили струму, який протікає у стінках трубопроводу. Аналізуючи заникання струму вздовж трубопроводу, можна судити про стан ізоляційного покриття, а також визначити місце знаходження дефектних ділянок.

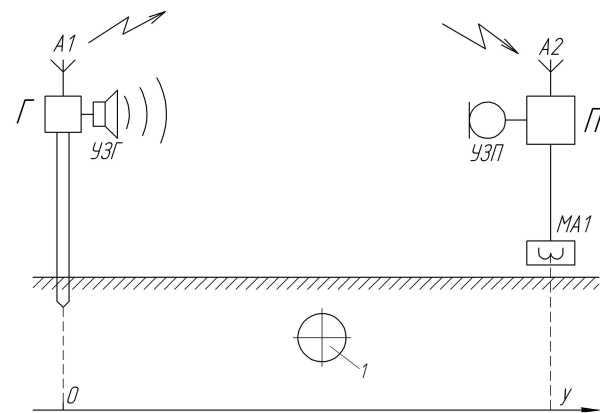
Профіль напруженості магнітного поля доцільно отримувати або з використанням додаткових засобів вимірювання відстані, або з використанням декількох горизонтально розміщених магнітних антен [2].

Перший спосіб полягає у одночасному вимірюванні значення горизонтальної складової напруженості магнітного поля та відстані від опорної точки О (рис. 1).

Перед отриманням профілю необхідно розмістити генератор з однієї сторони трубопроводу

а вимірювальний блок з іншої. Після цього оператор запускає процес вимірювання і проходить з вимірювальним блоком із однієї сторони трубопроводу на іншу. При цьому відбувається циклічний запис значення напруженості магнітного поля та відстані до т. О.

Значення відстані між вимірювальним блоком і генератором визначається за різницею часу проходження акустичної і електромагнітної хвилі Δt .



1 – підземний трубопровід; Г - генератор; П - приймач; A1, A2 - антени; УЗГ - випромінювач ультразвукових коливань; УЗП - приймач ультразвукових коливань; МА1 - магнітна антена

Рис. 1. Отримання профілю горизонтальної складової напруженості магнітного поля над підземним трубопроводом з використанням додаткових засобів вимірювання відстані

Генератор циклічно передає ультразвуковий та електромагнітний імпульс через УЗГ та А1, причому передача обох сигналів відбувається одночасно. На приймач сигнали приходять із різницею часу Δt .

Відстань між т. O та пристроєм вимірювання Π визначається так:

$$y = V_{y3} \Delta t, \quad (1)$$

де V_{y3} - швидкість поширення ультразвуку в повітрі.

Описана методика дозволяє після калібрування точно отримувати профіль напруженості магнітного поля, але є складною в реалізації.

Інша методика, описана в [2], дозволяє знімати профіль напруженості магнітного поля, використовуючи систему із декількох горизонтально розміщених магнітних антен ($MA1 \div MA3$). Відстань між антенами Δy_a повинна бути однаковою.

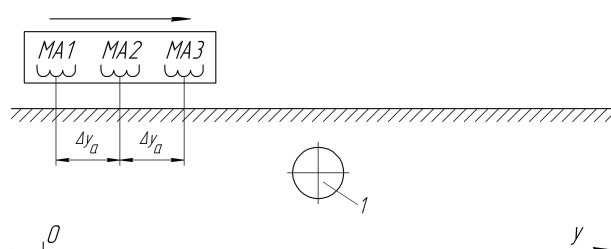


Рис. 2. Методика отримання горизонтальної складової напруженості магнітного поля над трубопроводом з використанням декількох горизонтально розміщених антен

Для вимірювання за даною методикою необхідно пройти із ввімкненим пристроєм через вісь трубопроводу. Таким чином в пам'яті буде записано декілька масивів значень напруженості магнітного поля, кількість яких буде дорівнювати кількості магнітних антен. Порівнюючи отримані масиви, можна отримати профіль напруженості магнітного поля.

Недоліком такого методу є його чутливість до завад, в результаті чого можна отримати профіль, який не відповідає дійсному.

Незалежно від того, якою методикою проводиться вимірювання, отримують значний набір вихідних даних. Для того, щоб було можливим подальше опрацювання даних, необхідно зменшити їх кількість, тому вибирають значення напруженості з кроком Δy . Приклад графіку дискретизованого профілю горизонтальної складової напруженості магнітного поля поданий на рис. 3.

В методиці, яка пропонується нами, для переходу від профілю напруженості магнітного поля до значення сили струму в стінках трубопроводу використовується нейромережа. Процес проектування нейронної мережі складається з таких етапів [4]:

- вибір конфігурації нейромережі,
- генерування наборів взірцевих даних,
- навчання нейромережі,

- перевірка правильності роботи.

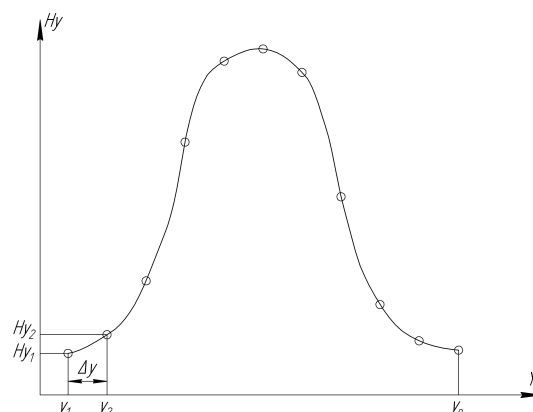


Рис. 3. Графік дискретизованого профілю горизонтальної складової напруженості магнітного поля над трубопроводом

Функція переходу від значення горизонтальної складової напруженості магнітного поля H_y до сили струму в стінках трубопроводу I є такою [3]:

$$H_y(y) = \frac{I \cdot z}{z^2 + (y - d)^2}, \quad (2)$$

де z - глибина залягання магістралі, d - відстань від уявного початку координат до осі трубопроводу.

Перед проектуванням нейромережі потрібно задатися межами, в яких будуть лежати значення змінних. Дopusкаємо, що сила струму I змінюється від 0 до 10 А, глибина залягання z від 0,5 до 5 м, $d = 5$ м, y буде змінюватися від 0 до 10 м з кроком 0,4 м (тобто отримаємо 25 точок профілю напруженості магнітного поля). Для обчислень використовується середовище Matlab та Neural Network Toolboxes.

Вибір конфігурації нейромережі для конкретної задачі визначається початковими даними. На вхід мережі необхідно подавати дискретизовані значення напруженості магнітного поля, в нашому випадку це 25 точок. Вихідними значеннями будуть сила струму I та глибина залягання z . Відстань від уявного початку координат d можна перетворити на константу, що дозволить підвищити точність моделювання. В нашому випадку $d = 5$ м і при попередній обробці даних перед подачею на нейромережу необхідно розмістити пік значення напруженості магнітного поля на координаті $y = 5$ м.

Для вирішення поставленої задачі пропонується використовувати трьохшарову нейромережу, кількість входів якої рівна 25 (перший шар), а виходів – 2 (третій шар). Другий прихований шар містить 15 нейронів. Оскільки залежність вхідних і

вихідних даних є нелінійною, то в першому і другому шарі використовується Log-Sigmoid передавальна функція (рис. 4). Для останнього шару передавальна функція є лінійною для забезпечення на виході значень, більших одиниці.

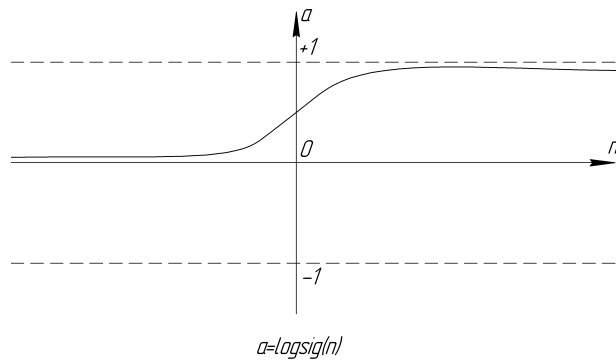


Рис. 4. Log-Sigmoid передавальна функція

Структурна схема нейромережі для визначення глибини залягання та сили струму в стінках трубопроводу зображена на рис. 5.

Перед початком роботи нейромережі необхідно провести її навчання. Процес навчання полягає у підборі таких вагових коефіцієнтів $b\{1\}$, $b\{2\}$ і $b\{3\}$ (рис. 5), при яких нейромережа б виводила правильні значення сили струму і глибини залягання при подачі на вхід профілю значення напруженості магнітного поля.

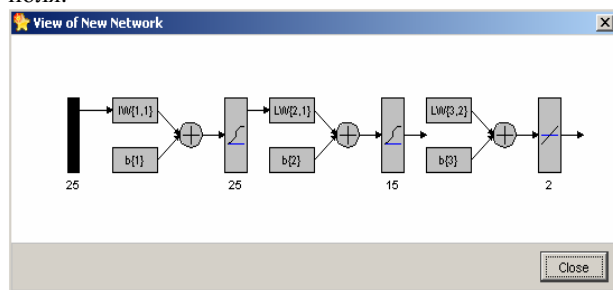


Рис. 5. Структурна схема нейромережі

Для генерування навчального набору даних була створена програма Data_arr.m:

```
% Підпрограма підготовки даних
% In-вхідний масив Op-вихідний масив
% I=0-10A z=0.5-5m d=5m y=0-10m,
% вибірка формується із 200 наборів даних
In=zeros(200,25);
Op=zeros(2,200);
y=0:4.e-1:9.6;
for i=1:200
    I=10*rand;
    z=4.5*rand+0.5;
    d=5;
    Op(1,i)=I;
```

```
Op(2,i)=z;
In(i,1:25)=I*z./(z^2+(y-
d).^2);
end;
In=In';
```

Дана програма формує 200 довільних наборів значень сили струму та глибини залягання і, відповідно, 200 профілів напруженості магнітного поля при таких даних.

Програма Мунеuro.m створює в системі Matlab нейромережу net задає параметри цієї мережі та проводить навчання:

```
net=newff(minmax(In),[25,15,2],{'logsig' 'logsig' 'purelin'},'trainlm');
net.performFcn='sse';
net.trainParam.goal=5e-7;
net.trainParam.epochs=10000;
[net,tr]=train(net,In,Op);
save nn1 net;
```

В приведеній програмі як функцію оцінки процесу навчання використано суму квадратних відхилень виходів сітки від еталонів. Критерієм закінчення навчання буде відхилення, значення якого буде меншим $5 \cdot 10^{-7}$. Максимальна кількість циклів навчання становить 10000.

Процес навчання представлений графіком залежності оцінки функціонування від номера циклу навчання (рис. 6). Результат навчання мережі зберігається в файлі nn1.net.

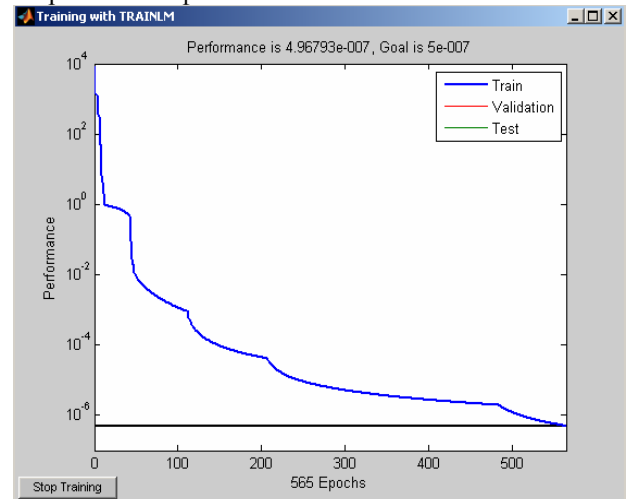


Рис. 6. Графік залежності оцінки функціонування мережі від номера циклу навчання

Перед тим, як користуватися нейронною мережею, необхідно дослідити ступінь достовірності результатів обчислення мережі на тестовому масиві вхідних векторів. Як тестовий необхідно використовувати масив, компоненти якого відрізняються від навчального масиву. В нашому випадку для отримання тестового масиву достатньо ще раз використати програму Data_arr.m.

Для оцінки достовірності результатів роботи нейромережі можна використати результати регресійного аналізу, які ми отримуємо при порівнянні еталонних значень із значеннями, одержаними на виході, коли на входи подати вектори тестового масиву. В середовищі Matlab для таких цілей можна використати команду `postreg`. Програма для тестування є такою:

```
Data_arr;
y=sim(net, In);
[m,b,r]=postreg(y(1,:),Op(1,:));
pause;
[m,b,r]=postreg(y(2,:),Op(2,:));
pause;
```

Як видно із рис. 7 та рис. 8 всі тестові точки лежать на прямій, що свідчить про правильну роботу нейромережі.

Роботу нейромережі при різних профілях напруженості магнітного поля можна перевірити за допомогою програми `Out_data.m`:

```
load nn1 net;
y=0:4.e-1:9.6;
NData=zeros(32,10);
prc=0;
for j=1:6
    It=10*rand;
    z=4.5*rand+0.5;
    d=5;
    profout = It*z./(z^2+(y-d).^2);
    for i=1:25
        profout(i)=profout(i)*(1-
            rand*prc);
    end;
```

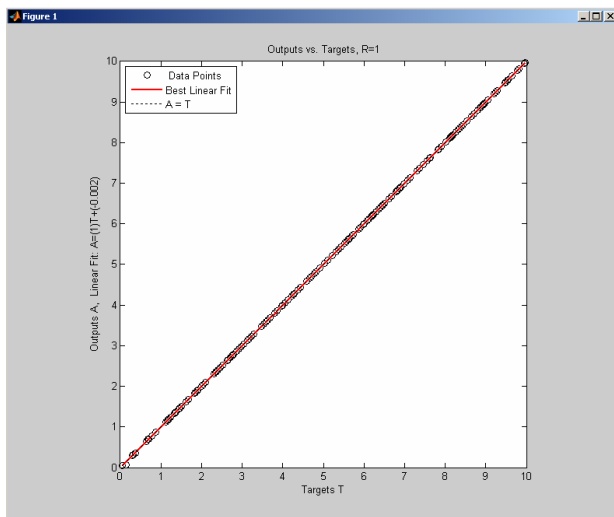


Рис. 7. Графік перевірки роботи нейромережі щодо визначення сили струму в стінках трубопроводу

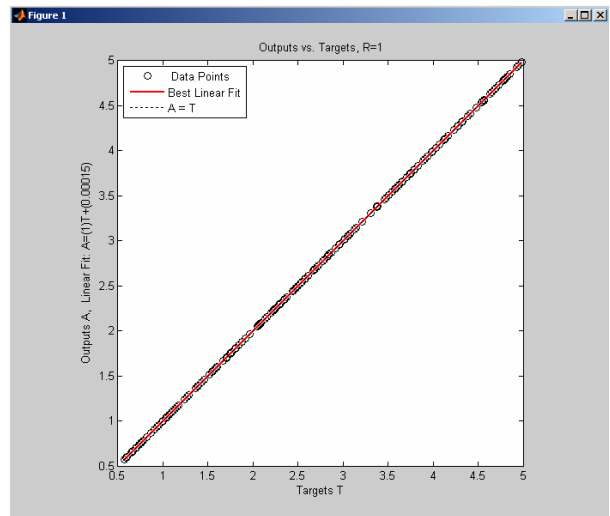


Рис. 8. Графік перевірки роботи нейромережі щодо визначення глибини залягання трубопроводу

```
profout = profout';
NData(1:25,j)=profout;
Io = sim(net, profout);
NData(26,j)=It;
NData(27,j)=z;
NData(28,j)=prc;
NData(29,j)=Io(1,1);
NData(30,j)=Io(2,1);
NData(31,j)=abs

(Io(1,1)-Io(1,1))*100/It;
NData(32,j)=abs(z-Io(2,1))*100/z;
end;
for j=7:12
    It=10*rand;
    z=4.5*rand+0.5;
    d=5;
    profout = It*z./(z^2+(y-d).^2);
    for i=1:25
        profout(i)=profout(i)*(0.02*rand+0.99);
    end;
    profout = profout';
    NData(1:25,j)=profout;
    Io = sim(net, profout);
    NData(26,j)=It;
    NData(27,j)=z;
    NData(28,j)=2;
    NData(29,j)=Io(1,1);
    NData(30,j)=Io(2,1);
    NData(31,j)=abs(Io(1,1))*100/It;
    NData(32,j)=abs(z-Io(2,1))*100/z;
end;
for j=13:18
    It=10*rand;
    z=4.5*rand+0.5;
```

```

d=5;
profout = It*z./(z^2+(y-d).^2);
for i=1:25
profout(i)=profout(i)*(0.06*rand+0
.97);
end;
profout = profout';
NData(1:25,j)=profout;
Io = sim(net, profout);
NData(26,j)=It;
NData(27,j)=z;
NData(28,j)=6;
NData(29,j)=Io(1,1);
NData(30,j)=Io(2,1);
NData(31,j)=abs(It-
Io(1,1))*100/It;
    
```

```

NData(32,j)=abs(z-Io(2,1))*100/z;
end;
    
```

Результати роботи програми приведені в табл. 1. Обчислення проводилося на незашумленому профілі, а також при наявності шумів на профілі з величинами 2 та 6%. Як видно із отриманих даних максимальна відносна похибка для струму I становить 3,1%, а для глибини залягання трубопроводу z - 5,8%.

Застосування нейромереж при діагностиці стану ізоляційного покриття дозволить підвищити точність вимірювань та збільшити швидкодню пристроїв контролю. Використання даної методики дозволить виключити ряд похибок, які виникають в більшості методів контролю.

Таблиця 1 – Результати проведення обчислень нейромережею

Вихідні дані		Зашумлення сигналу, %	Обчислені дані		Відносна похибка по I , %	Відносна похибка по z , %
I , А	z , м		I , А	z , м		
1,80681	4,94323	0,0	1,80644	4,94260	0,02053	0,01271
4,92618	1,47674	0,0	4,92619	1,47680	0,00015	0,00412
9,87321	4,00146	0,0	9,87320	4,00146	0,00014	0,00010
9,45139	4,16049	0,0	9,45143	4,16048	0,00040	0,00018
8,58550	1,21931	0,0	8,58547	1,21927	0,00044	0,00358
8,98882	2,48399	0,0	8,98883	2,48391	0,00009	0,00315
6,23994	3,16536	2,0	6,21549	3,17018	0,39187	0,15251
5,85867	1,22300	2,0	5,86282	1,22370	0,07090	0,05765
7,53215	4,51238	2,0	7,55601	4,48948	0,31686	0,50754
0,76343	3,91155	2,0	0,76378	3,88220	0,04607	0,75024
4,02958	3,73137	2,0	4,05063	3,72087	0,52236	0,28153
3,19563	4,11062	2,0	3,20369	4,09250	0,25220	0,44077
0,81913	0,63542	6,0	0,81808	0,64342	0,12827	1,25953
1,96045	0,60625	6,0	1,93263	0,60782	1,41896	0,25964
6,01419	0,99447	6,0	6,13341	1,05187	1,98223	5,77218
2,60155	4,04395	6,0	2,54312	4,18948	2,24603	3,59866
5,46912	3,91080	6,0	5,30145	3,77521	3,06585	3,46685
0,70737	4,44765	6,0	0,69906	4,46451	1,17466	0,37914

1. Яворський А.В. Методика проведення контролю стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів за допомогою системи безконтактного стану ізоляційного покриття // *Методи і прилади контролю якості*. – 2001. – № 7. – С.25-28. 2. Костів Б.В., Кісіль І.С. Вимірювання напруженості магнітного поля над паралельними підземними нафтогазопроводами з метою

безконтактного контролю стану їх ізоляції // *Методи і прилади контролю якості*. – 2006. – № 17. – С.37-40. 3. Разин Г. И., Щелкин А. П. *Бесконтактное измерение электрических токов*. – М.: Атомиздат, 1974. – 160 с. 4. Барский А.Б. *Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений*. - М.: Финансы и статистика, 2004. – 175с.