

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ МАГНІТНИХ АНТЕН ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМУ В СТІНКАХ ПІДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДУ В ПРОЦЕСІ КОНТРОЛЮ ЙОГО ІЗОЛЯЦІЇ

Б.В. Костів, І.С. Кісіль

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел. (8-03422) 4-60-77

Описан метод для определения тока, который протекает в стенках трубопровода, получены зависимости для определения места залегания подземного трубопровода, разработана конструкция системы магнитных антенн для реализации этого метода.

A method is described for determination of current flows in the pipeline, dependences are got for a location of underground pipeline, and the construction of the system of magnetic aeriels is developed for realization of this method.

Контроль ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів на даний час проводиться контактними та безконтактними методами. Значна кількість обстежень виконується контактними методами, але вони є трудомісткими та вимагають великих затрат часу [1]. Безконтактні методи є продуктивнішими, однак отримання необхідних значень вихідних параметрів і подальша їх обробка є складнішою.

В пристроях для безконтактного контролю стану ізоляції підземних нафтогазопроводів використовується значна кількість різноманітних систем магнітних антен [2]. Більшість із них перед проведенням вимірювань необхідно певним чином орієнтувати по відношенню до підземного трубопроводу, що зменшує продуктивність обстеження. Переважно під попередньою орієнтацією розуміють розміщення вимірювальної системи точно над віссю трубопроводу під певним наперед заданим кутом. Якщо система магнітних антен буде розміщена неточно, то одержані дані будуть відрізнятися від реальних.

В статті пропонується така конструкція системи магнітних антен та метод для безконтактного визначення струму в стінках підземного трубопроводу, що не передбачає попереднього точного орієнтування системи відносно його осі.

Схематичне зображення такої системи приведене на рис. 1. Система магнітних антен складається із двох блоків магнітних антен 1 і 2. Блок антен 1 містить три котушки – 4, 5, 6. Блок

антен 2 містить дві котушки – 7, 8. Блоки 1 і 2 розміщені на відстані b .

Для отримання інформаційного сигналу до трубопроводу 3 підключають генератор змінного струму 9. Напруженість магнітного поля, створеного струмом I , що протікає по стінках трубопроводу на відстані r від нього, виражається залежністю [3, 4]

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi \cdot r}, \quad (1)$$

де μ_0 - магнітна стала; I - сила струму, яка протікає в стінках трубопроводу; r - відстань до осі трубопроводу.

Під дією магнітного поля на виході котушок системи магнітних антен отримують відповідні напруги, а саме: U_{x1} , U_{x2} , U_{z1} , U_{z2} і U_{y1} , де U_{x1} - сигнал на виході котушки 4, U_{x2} - сигнал на виході котушки 7, U_{z1} - сигнал на виході котушки 6, U_{z2} - сигнал на виході котушки 8, U_{y1} - сигнал на виході котушки 5. Величина напруги, яка індукується в котушці, що розміщена перпендикулярно до ліній дії магнітного поля, згідно з [3, 4] буде такою:

$$U = k \cdot B, \quad (2)$$

де k - коефіцієнт, який залежить від конструктивних параметрів котушки, що використовується.

Значення напруг на виході кожної із котушок з урахуванням відповідних віддалей і кутів розміщення (рис. 1) будуть такими:

$$U_{x1} = \frac{\mu_0 k I \cdot \sin(\beta)}{2\pi \cdot r_1}; \quad (3)$$

$$U_{x2} = \frac{\mu_0 k I \cdot \sin(\gamma)}{2\pi \cdot r_2}; \quad (4)$$

$$U_{z1} = \frac{\mu_0 k I \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\alpha)}{2\pi \cdot r_1}; \quad (5)$$

$$U_{z2} = \frac{\mu_0 k I \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\alpha)}{2\pi \cdot r_2}; \quad (6)$$

$$U_{y1} = \frac{\mu_0 k I \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\alpha)}{2\pi \cdot r_1}. \quad (7)$$

Виконуючи ділення рівнянь (5) на (7), (5) на (3) та (6) на (4), отримаємо, що:

$$\frac{U_{z1}}{U_{y1}} = \operatorname{tg}(\alpha); \quad (8)$$

$$\frac{U_{z1}}{U_{x1}} = \operatorname{ctg}(\beta) \cdot \sin(\alpha); \quad (9)$$

$$\frac{U_{z2}}{U_{x2}} = \operatorname{ctg}(\gamma) \cdot \sin(\alpha). \quad (10)$$

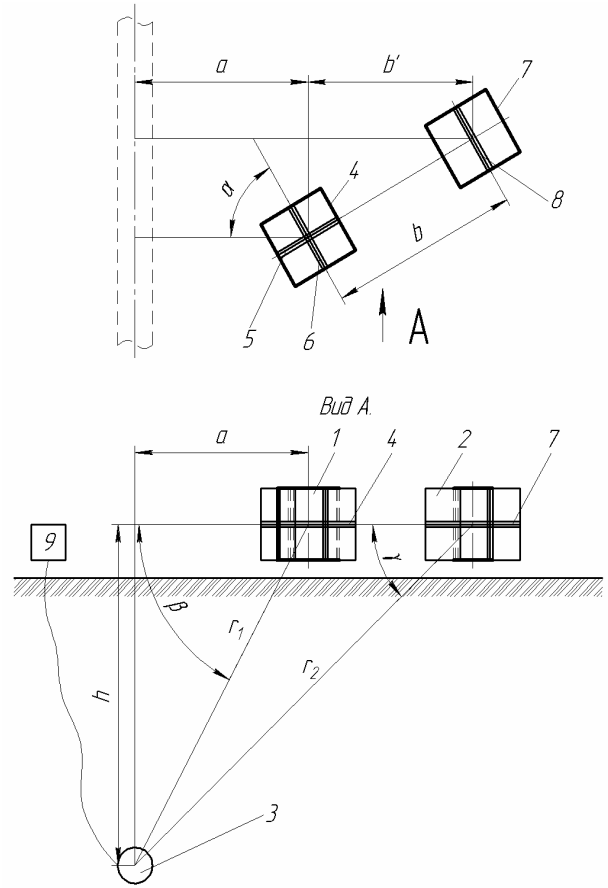
Значення $\operatorname{ctg}(\beta)$ згідно рис. 1 визначається таким чином:

$$\operatorname{ctg}(\beta) = \frac{a}{h}. \quad (11)$$

Для визначення параметрів a і b систему магнітних антен розміщують біля осі трубопроводу довільним чином, за виключенням положення системи магнітних антен паралельно осі підземного трубопроводу. Більша точність вимірювань буде при більших значеннях параметру b' (рис. 1). Значення кута між віссю трубопроводу і системою магнітних антен знаходимо із виразу (8), тобто

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{U_{z1}}{U_{y1}}. \quad (12)$$

Можливі три варіанти положення блоків магнітних антен відносно трубопроводу:



1, 2 - блоки магнітних антен; 3 - трубопровід; 4, 5, 6, 7, 8 - котушки; 9 - генератор змінного струму

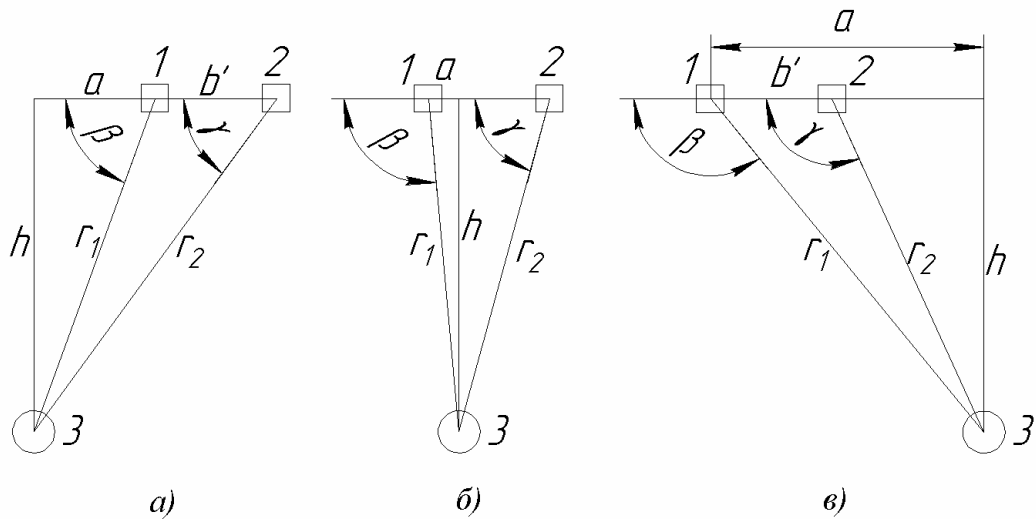
Рисунок 1 - Схематичне зображення системи магнітних антен для контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів

обидва блоки антен розміщені праворуч осі трубопроводу (рис. 2,а); блоки антен розміщені над трубопроводом, але вісь трубопроводу знаходиться між двома блоками (рис. 2,б); обидва блоки антен розміщені ліворуч осі трубопроводу (рис. 2,в). Відповідно до цього значення $\operatorname{ctg}(\gamma)$ буде визначатися наступним чином (рис. 2):

$$\operatorname{ctg}(\gamma) = \frac{a + b \cdot \sin(\alpha)}{h}; \quad (13)$$

$$\operatorname{ctg}(\gamma) = \frac{-a + b \cdot \sin(\alpha)}{h}; \quad (14)$$

$$\operatorname{ctg}(\gamma) = \frac{a - b \cdot \sin(\alpha)}{h}. \quad (15)$$



1, 2 - блоки магнітних антен; 3 - трубопровід

Рисунок 2 - Схема розміщення системи магнітних антен праворуч осі трубопроводу (а), над його віссю (б) та ліворуч від нього (в)

Якщо система контролю знаходиться праворуч осі трубопроводу, то, використовуючи залежності (8)–(11) та (13), значення a та h можна визначити із такої системи рівнянь при наперед розрахованому значенні α :

$$\begin{cases} \frac{U_{z1}}{U_{x1}} = \frac{a}{h} \sin(\alpha); \\ \frac{U_{z2}}{U_{x2}} = \frac{a + b \cdot \sin(\alpha)}{h} \sin(\alpha). \end{cases} \quad (16)$$

Якщо система контролю знаходиться над віссю трубопроводу, то, використовуючи залежності (8)–(11) та (14), значення a та h визначаються із системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{U_{z1}}{U_{x1}} = \frac{a}{h} \sin(\alpha); \\ \frac{U_{z2}}{U_{x2}} = \frac{-a + b \cdot \sin(\alpha)}{h} \sin(\alpha). \end{cases} \quad (17)$$

Якщо система контролю знаходиться справа осі трубопроводу, то, використовуючи залежності (8)–(11) та (15), значення a та h визначаються із системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{U_{z1}}{U_{x1}} = \frac{a}{h} \sin(\alpha); \\ \frac{U_{z2}}{U_{x2}} = \frac{a - b \cdot \sin(\alpha)}{h} \sin(\alpha). \end{cases} \quad (18)$$

Для визначення положення системи магнітних антен відносно осі трубопроводу зручно використовувати порівняння фаз сигналів U_{x1} та U_{x2} . Якщо сигнали мають зсув по фазі 0° , то блоки магнітних антен розміщені по одну сторону відносно осі трубопроводу і обчислення глибини та відстані до осі виконуються за допомогою залежностей:

$$h = \frac{b \cdot U_{x1} \cdot U_{x2} \cdot \sin^2(\alpha)}{U_{x1} \cdot U_{z2} - U_{x2} \cdot U_{z1}}; \quad (19)$$

$$a = \frac{b \cdot U_{z1} \cdot U_{x2} \cdot \sin(\alpha)}{U_{x1} \cdot U_{z2} - U_{x2} \cdot U_{z1}}. \quad (20)$$

Додатній знак результатів визначення h і a свідчить про розміщення обох блоків магнітних антен зліва від осі трубопроводу, а від'ємний – про їх розміщення справа.

У випадку, якщо сигнали мають зсув по фазі 180° , то блоки антен розміщені по різні сторони осі трубопроводу і обчислення глибини та відстані до осі проводяться за залежностями:

$$h = \frac{b \cdot U_{x1} \cdot U_{x2} \cdot \sin^2(\alpha)}{U_{x1} \cdot U_{z2} + U_{x2} \cdot U_{z1}}; \quad (21)$$

$$a = \frac{b \cdot U_{z1} \cdot U_{x2} \cdot \sin(\alpha)}{U_{x1} \cdot U_{z2} + U_{x2} \cdot U_{z1}}. \quad (22)$$

Враховуючи, що $\sin(\beta) = h/r_1$ (рис.1), а також використовуючи залежності (5), (11), (12)

$$I = \frac{2\pi \cdot U_{z1} \cdot h}{\mu_0 k \cos\left(\arctg\left(\frac{a}{h}\right)\right) \sin\left(\arctg\left(\frac{U_{z1}}{U_{y1}}\right)\right) \sin\left(\arctg\left(\frac{a}{h}\right)\right)} = \frac{2\pi \cdot h^2 \cdot U_{y1} \left(1 + \frac{a^2}{h^2}\right) \sqrt{1 + \frac{U_{z1}^2}{U_{y1}^2}}}{\mu_0 k \cdot a}. \quad (23)$$

Виконуючи вимірювання сили струму з певним кроком вздовж підземного трубопроводу будують графік заникання цього струму. По профілю отриманого графіка можна судити про наявність чи відсутність дефектів ізоляційного покриття підземного трубопроводу.

Таким чином використання запропонованої системи магнітних антен, а також описаної вище методики дозволить зменшити час проведення контролю, збільшити продуктивність обстеження, а також підвищити точність отриманих результатів, оскільки виключається необхідність точного орієнтування системи магнітних антен відносно осі підземного трубопроводу.

Література

1. Методы контроля и измерений при защите подземных сооружений от коррозии / Н. П. Глазов, И. В. Стрижевский, А. М. Калашикова и др.—М.: Недра, 1978. —215 с.
2. Джала Р. М. Електромагнітні обстеження і контроль корозії трубопроводів // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібник / Під загальною ред. В. В. Панасюка.—Т.5: Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З. Т. Назарчука.—Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України.—2001.—Розд. 5.—С. 263-330.
3. Патент США №5093622, G01V 3/11, Method and Apparatus for determining direction to and position of an underground conductor, 3.03.1992
4. Патент США №4542344, G01V 3/11, Detecting buried pipeline depth and location with electromagnetic triangulation, 17.09.1985.