

## ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НАД ПАРАЛЕЛЬНИМИ ПІДЗЕМНИМИ НАФТОГАЗОПРОВОДАМИ З МЕТОЮ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ ЇХ ІЗОЛЯЦІЇ

© Костів Б.В., Кісіль І.С., 2006

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

*Описана методика вимірювання дискретизованих значень напруженості магнітного поля над паралельними підземними нафтогазовпроводами з метою безконтактного контролю стану її ізоляції, розроблено алгоритм проведення вимірювань та структурну схему пристрою, який реалізує запропонований алгоритм вимірювань*

На даний час існує ряд засобів для діагностики стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів. Більшість із них базується на вимірюванні потенціалу між трубою і ґрунтом, між двома точками на поверхні землі та ін. Дані методи є достатньо інформативними для одного трубопроводу, але їхнім недоліком є трудомісткість проведення вимірювань та відсутність можливості обстеження декількох паралельних підземних трубопроводів[1].

Більш оперативними є безконтактні методи, які дозволяють визначити стан ізоляції аналізуючи напруженість магнітного поля над трубопроводами. Недоліком даного типу діагностики є складна апаратна реалізація.

В даній статті пропонується метод безконтактної діагностики ізоляційного покриття, аналізуючи профіль напруженості магнітного поля в перпендикулярному напрямку над трубопроводами. Велика кількість методів, що ґрунтуються на вимірюванні напруженості, вимагає точного знаходження осі підземного трубопроводу. В такому випадку при вимірюванні затрачається певний час, а також виникають похибки, в яких присутній і людський фактор. Виключення необхідності знаходження осі дозволило б підвищити точність отриманих результатів.

Напруженість магнітного поля над декількома трубопроводами описується формулою [2]:

$$H_y = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^n \frac{I_j z_j}{z_j^2 + (y - b_{j-1} - d)^2}, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість нафтогазовпроводів;  $I_j$  – струми в стінках відповідних нафтогазовпроводів;  $z_j$  - висота точки спостереження відносно  $j$ -го нафтогазовпроводу;  $y$  - абсциса перпендикулярного трасі профілю, що відраховується від осі крайнього

нафтогазовпроводу;  $b_j$  - віддаль  $j$ -го нафтогазовпроводу від першого.

Функція (1) - це неперервна і нерозривна функція. Максимуми даної залежності будуть вказувати на кількість і приблизне місце проходження трубопроводу.

Для визначення дефектних ділянок ізоляції необхідно визначити значення сили струму вздовж трубопроводу, який протікає в його стінках, і по профілю заникання цього струму виявити дефекти.

Для більш точних результатів контролю пропонується вимірювання профілю напруженості магнітного поля проводити в площині, яка перпендикулярна до осі трубопроводу. Отримані дані можна опрацювати різноманітними числовими методами (наприклад, градієнтний метод, метод Бокса та ін.). Дані методи дозволяють проводити пошук максимумів функції (1), яка представлена набором числових значень[3]. Але процес обчислення в такому випадку може бути складним та неточним. Наприклад, за допомогою числових методів може бути виявлено локальний максимум або мінімум функції, що і приведе до неправильного результату.

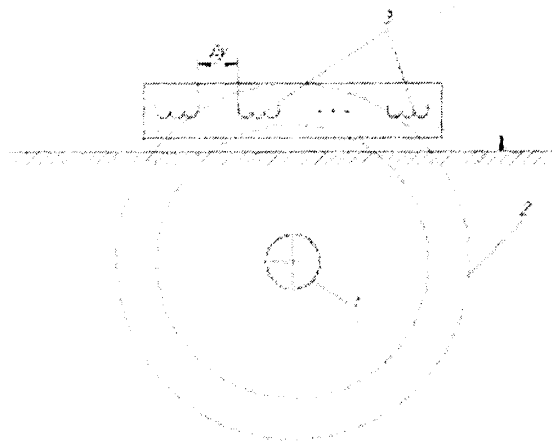
Більш доцільним є застосування для обчислень нейромереж. Це дозволить підвищити швидкість та створити пристрій, який може адаптуватися до різних умов контролю[4]. Також можливе одержання під час діагностування значення опору ізоляційного покриття. Такі обчислення із використанням числових методів є складними та залежать від багатьох факторів, які важко передбачити.

Велика кількість вихідних даних також дозволить значно підвищити точність, оскільки будуть зменшеними випадкові похибки.

Найбільшою проблемою при одержанні профілю напруженості магнітного поля є прив'язка

отриманих даних до відстані, тобто необхідна така апаратна реалізація, яка б дозволила записувати крім значень напруженості ще і відстань між знятими точками. Для виконання цієї умови більшість існуючих методів є непрактичними. Наприклад, механічні засоби є незручні, ультразвукові потребують додаткових пристроїв та складні в налаштуванні, системи GPS не дають необхідної точності.

Пропонується використання системи магнітних антен, які сприймають горизонтальну складову напруженості магнітного поля і розміщені на однаковій відстані одна між одною (рис. 1). Мінімальна кількість антен – 2. Відстань між антенами  $\Delta y$  дорівнює кроку, з яким буде виконуватися дискретизація профілю напруженості. Із збільшенням кількості відкаліброваних антен буде зростати точність обчислень.



1- трубопровід; 2-лінії напруженості магнітного поля; 3-магнітні антени

Рис. 1. Розміщення системи магнітних антен над віссю трубопроводу

Для проведення вимірювань оператору потрібно пройти перпендикулярно до осі трубопроводу з включеним пристроєм із однієї сторони трубопроводу на іншу. Початок та закінчення вимірювання відбувається при натискуванні оператором відповідної кнопки на приладі. При цьому буде відбуватися швидке циклічне вимірювання напруженості магнітного поля всіма антенами та запис значень у відповідні масиви. Інтервал часу при вимірюванні повинен забезпечити достатню кількість вихідних даних, і в даному випадку становить 50 мс.

На рис. 2 зображено процес дискретизації профілю напруженості магнітного поля з використанням двох антен  $A$  та  $B$ .  $H_a$  та  $H_b$  - це відповідні масиви значень горизонтальної складової напруженості магнітного поля, отримані оператором

при переході через вісь трубопроводу. Перед проведенням дискретизації потрібно провести згладжування отриманих результатів – масивів  $H_a$  та  $H_b$ , а також нормалізувати їх значення, оскільки важко виготовити антени із однаковими параметрами. Процес згладжування передбачає вилучення випадково вимірених хибних значень напруженості. Нормалізація виконується з метою отримання однакових по амплітуді, але зміщених на крок  $\Delta y$  масивів даних. Це дозволить використовувати антени, характеристики яких відрізняються.

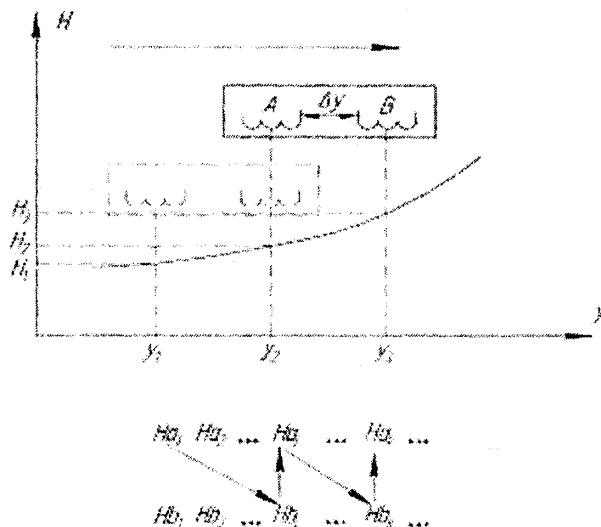


Рис. 2. Проведення вимірювань та обробка отриманих результатів

Алгоритм дискретизації полягає у порівнянні отриманих масивів і знаходження рівних значень. Із масиву  $H_a$  береться перший елемент  $H_{a_1}$  і порівнюється із елементами масиву  $H_b$ . При знаходженні відповідного рівного значення ( $H_{b_i}$ ) із масиву  $H_a$  беруть елемент із індексом, який рівний індексу знайденого елемента  $H_{b_i}$  і процедура повторюється. В результаті такого пошуку отримується ряд значень  $H_1 = H_{a_1} = H_{b_1}$ ,  $H_2 = H_{a_i} = H_{b_k}$ ,  $H_3 = H_{a_k} = \dots$ . Ці дані будуть відповідати напруженості магнітного поля, яка б була виміряна з кроком  $\Delta y$  (рис. 2). Використання більшої кількості антен в даному алгоритмі дозволить використовувати більше вихідних масивів, а отже і підвищити точність.

Алгоритм проведення вимірювання та дискретизації приведений на рис. 3. Він складається з двох основних частин. Перша (поз. 2-5) відповідає за вимірювання та запис значень горизонтальної

складової напруженості магнітного поля, а друга (поз. 6-10) – за обробку отриманих даних та одержання кінцевого масиву дискретизованих значень. Запис вихідних даних повинен відбуватися з достатньо великою частотою, але її надмірне збільшення може привести до перевантаження пам'яті пристроїв обробки. Частота буде залежати від швидкості руху оператора над віссю трубопроводів, і потрібно використовувати таке її значення, яке б дозволило отримати достатню кількість вихідних даних. В даному випадку циклічний запис початкових даних (масивів значень напруженості) відбувається через кожні 50 мс. Кінцем проведення вимірювання напруженості слід вважати зменшення значення вимірної напруженості до рівня початкового значення і проходження оператором останнього із паралельних трубопроводів. Масиви  $H_a(i)$  та  $H_b(i)$  будуть містити ряд послідовно вимірних значень за допомогою антен  $A$  та  $B$ . Змінна  $i$  містить кількість елементів масивів і в блоці перевірки (поз. 8) використовується для знаходження кінця обчислень та переходу на кінець. Для обробки отриманих масивів використовується цикл (поз. 7), в якому відбувається перевірка елементів масивів  $H_a(i)$  та  $H_b(i)$ . При їх рівності (поз. 9), відбувається запис значень напруженості в кінцевий масив (поз. 10). Одночасно з цим відбувається збільшення порядкового номера вихідного масиву ( $j$ ) та номера елемента вхідного масиву, з яким буде здійснюватися порівнювання ( $m$ ). В результаті виконання такого алгоритму в масиві  $H$  будуть записані значення напруженості над віссю трубопроводу із заданим кроком.

Для обстеження стану ізоляційного покриття на основі описаної методики була розроблена структурна схема пристрою (рис. 4).

В розробленій структурній схемі використовуються два незалежні вимірювальні каскади, давачами інформації в яких служать магнітні антени  $A, B$ . При їх виготовленні найбільшу увагу потрібно звернути на отримання однакових характеристик. Попередні підсилювачі  $ПП$  використовуються для отримання на виході необхідного рівня сигналу для обробки. Керовані підсилювачі  $КП$  задають необхідний рівень підсилення для отримання однакових рівнів сигналу для різних каналів. Це дозволить зменшити похибку, яка виникає при використанні декількох антен (оскільки виготовлення антен із однаковими характеристиками практично неможливе). Рівень підсилення задається мікропроцесорним блоком  $МП$ . Фільтр  $\Phi$  служить для виділення корисного інформативного сигналу. Після детектування на детекторах  $Д$  сигнали передаються на блок обчислення  $МП$ , де і виконується перетворення та дискретизація а також обчислення інформативних параметрів контролю. Такими параметрами можуть бути значення сили струму, яка протікає в стінках трубопроводу, або значення опору ізоляції. Для зберігання інформації про положення точки вимірювання профілю застосовується блок  $БП$ , для якого доцільно використати приймач  $GPS$  [5]. При подальшій обробці результатів це дозволить побудувати профіль заникання струму вздовж трубопроводу та визначити розміщення дефектних ділянок при ремонтних роботах. Системи  $GPS$  мають похибку визначення позиції  $\approx 3$ м.

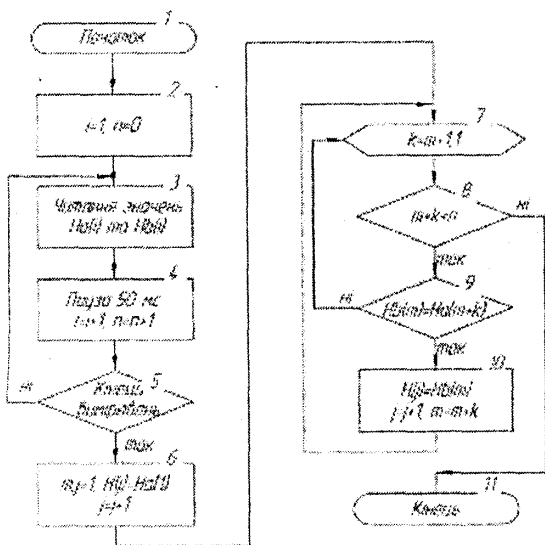
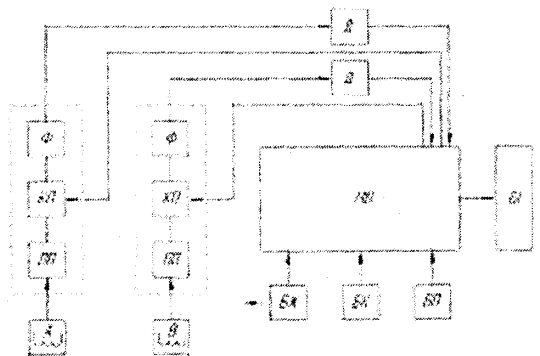


Рис. 3. Алгоритм дискретизації напруженості магнітного поля



$A, B$  – магнітна антена;  $ПП$  – попередній підсилювач;  $КП$  – керований підсилювач;  $\Phi$  – фільтр;  $Д$  – детектор;  $МП$  – блок обчислень;  $БЖ$  – блок живлення;  $БК$  – блок керування;  $БІ$  – блок індикації;  $БП$  – блок позиціонування

Рис. 4. Структурна схема приймача для контролю стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів

Перевагою описаної методики є можливість знімати профіль напруженості магнітного поля без застосування додаткових механічних чи інших засобів. Записаний масив напруженості магнітного поля дозволить підвищити точність вимірювання сили струму, оскільки використовуючи функцію (1) можна записати систему рівнянь, а не одне рівняння, як це здійснюється в більшості методів. Перспективним є також використання нейромереж, що дозволить безпосередньо знаходити опір ізоляції.

Певними затрудненнями при реалізації запропонованої нами методики вимірювання напруженості магнітного поля над підземними трубопроводами є відносна складність конструкції пристрою, а також необхідність забезпечення

перпендикулярності при проходженні через контрольовану ділянку трубопроводів.

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. Разин Г. И., Щелкин А. П. Бесконтактное измерение электрических токов. – М.: Атомиздат, 1974.– 160 с. 3. [http://mallab.exponenta.ru/optimiz/book\\_2/](http://mallab.exponenta.ru/optimiz/book_2/).
4. Башмаков А.И. Интеллектуальные информационные технологии Учебное пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 304 с. 5. <http://www.gpsinfo.ru/>.