

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ І ЇЇ МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

І.С.Кісіль, Б.В.Костів

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067
e-mail: Zarichna@nung.edu.ua*

Описано інформаційно-вимірну систему KI-1 для безконтактного визначення величини струму в стінках підземних трубопроводів шляхом вимірювання напруженостей магнітного поля над ними, а також методика оцінки стану ізоляційного покриття цих трубопроводів за величиною зникання цього струму. Значна увага приділена розробленню трьох методик безконтактного визначення величини струму і аналізу методичних та інструментальних похибок системи KI-1 під час їх реалізації

Ключові слова: підземний трубопровід, інформаційно-вимірнувальна система, ізоляційне покриття, методика

Описана информационно-измерительная система KI-1 для бесконтактного определения величины тока в стенках подземных трубопроводов путем измерения напряженности магнитного поля над ними, а также методика оценки состояния изоляционного покрытия этих трубопроводов по величине утечки этого тока. Значительное внимание уделено разработке трех методик бесконтактного определения величины тока и анализа методических и инструментальных погрешностей системы KI-1 при их реализации

Ключевые слова: подземный трубопровод, информационно-измерительная система, изоляционное покрытие, методика

The informatively-measuring system of KI-1 is described for the non-contact detection of value of current in the walls of underground pipelines by measuring of tension of magnetic-field over them, and also method of estimation of the state of isolating coverage of these pipelines on the size of loss of this current. Considerable attention is spared development of three methods of the non-contact detection of value of current and analysis of methodical and instrumental errors of the system of KI-1 during their realization

Keywords: underground pipeline, informatively-measuring system, isolating coverage, method

На сьогодні в Україні одним із найбільш розповсюджених видів постачання значної кількості природного газу, нафти і нафтопродуктів від виробників споживачам є підземний трубопровідний транспорт [1]. З часом стан ізоляційного покриття трубопроводів внаслідок багатьох причин (технологічних, геологічних, тривалості експлуатації тощо) погіршується. Це призводить до контактування стінок трубопроводу із ґрунтовими водами і його кородування, що в багатьох випадках є причиною аварій з непередбачуваними наслідками [2].

Тому оперативний і достовірний безконтактний контроль стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів є актуальною задачею для нафтогазовидобувних і нафтогазотранспортних підприємств України [3], особливо з урахуванням значної кількості підземних трубопроводів і тривалого часу їх експлуатації.

Безконтактні методи контролю ізоляційного покриття ґрунтуються на безконтактному визначенні струму, який протікає в стінці підземного трубопроводу. Під час такого контролю до стінок підземного трубопроводу у відповідних місцях під'єднують генератор змінного струму і шляхом проведення блоком магнітних антен над трубопроводом по обидва боки від місця під'єднання до нього генератора безконтактно визначають струм у стінці трубопроводу. За характером зникання струму в стінці трубопроводу вздовж трубопроводу (частково-го переходу струму із стінок трубопроводу (у

місцях пошкодженої ізоляції струм частково переходить зі стінки в землю) судять про стан ізоляційного покриття [4].

Приладам і системам (ІПІТ-2 [5], Универсал-911 [6], АНПИ-А [7], ІПК-01 [8], ПОИСК-210Д-2 [8], ПОИСК-310Д-2 [8], S-СКАН [9], Radiodetection РСМ [10], БІТ-КВП [11], БКІТ-2 [12]), які на даний час використовуються для безконтактного контролю ізоляційного покриття підземних трубопроводів властиві певні недоліки: необхідна відповідна орієнтація блоку магнітних антен відносно контрольованого трубопроводу; під час безконтактного вимірювання напруженості магнітного поля над трубопроводом необхідна зупинка руху із блоком магнітних антен тощо. Аналіз цих приладів і систем, а також їх недоліків обумовили необхідність розроблення удосконаленої інформаційно-вимірнувальної системи.

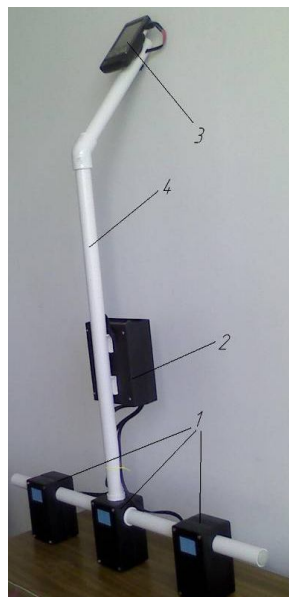
Інформаційно-вимірнувальна система KI-1 складається з генератора KI-1-Г для задання струму змінної частоти (рис. 1, а) в діапазоні частот 50-1500 Гц і амплітудою до 5 А та приймача KI-1-П з блоком магнітних антен і портативним комп'ютером (рис. 1, б).

Структурні схеми генератора імпульсних сигналів KI-1-Г і приймача KI-1-П зображені відповідно на рис. 2 і 3.

Генерування сигналу необхідної частоти та скважності відбувається в блоці генерації БГ. Даний блок разом із вихідним трансформатором ВТ формує імпульси необхідної конфігу-



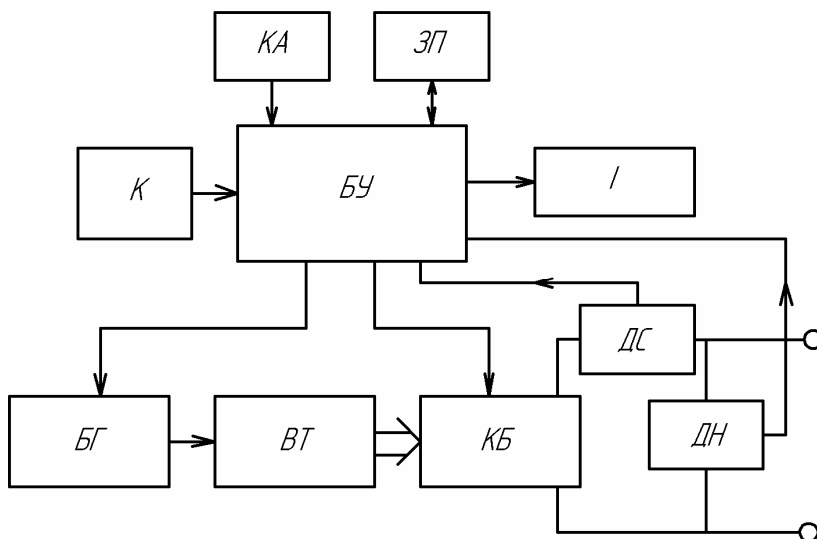
а)



б)

а) генератор KI-1-Г; б) приймач KI-1-П; 1 – блоки магнітних антен; 2 – блок попереднього оброблення сигналів; 3 – портативний комп'ютер; 4 – основа приймача

Рисунок 1 – Інформаційно-вимірювальна система KI-1



БГ – блок генерації; БУ – блок управління; ВТ – вихідний трансформатор; ДН – давач напруги; ДС – давач струму; ЗП – запам'ятовуючий пристрій; КБ – блок комутації; К – панель управління; КА – блок контролю стану акумулятора; І – індикатор

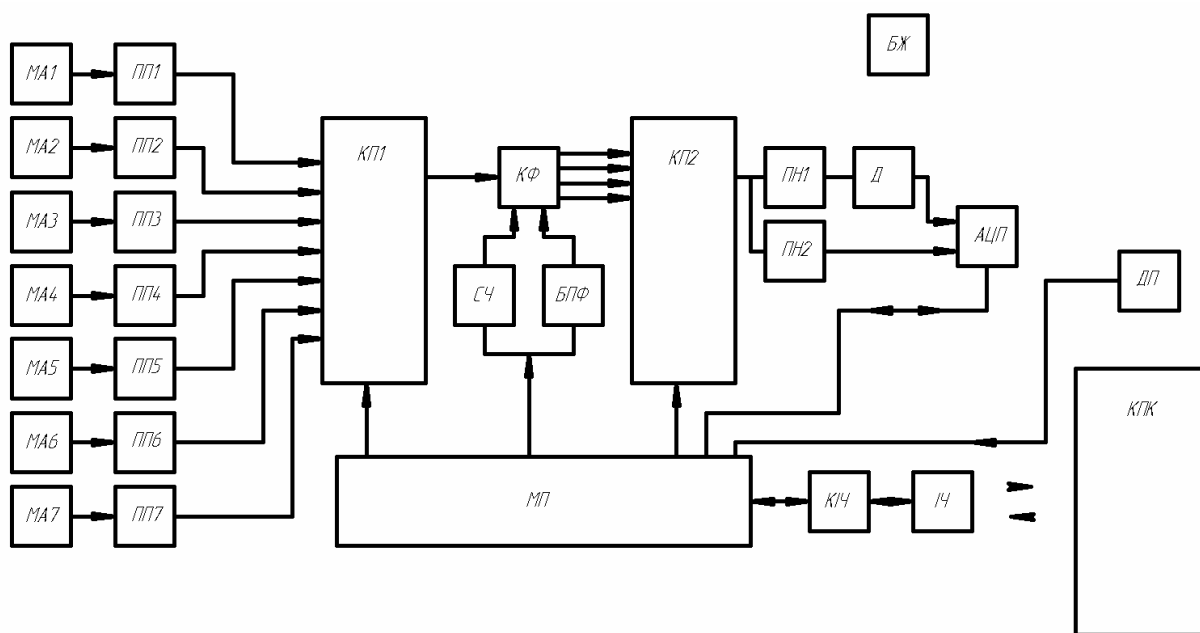
Рисунок 2 – Структурна схема генератора KI-1-Г

рації, які поступають на контрольований трубопровід. Для узгодження рівня сигналу із електричним опором трубопроводу передбачено блок комутації КБ. Для контролю за параметрами вихідного сигналу в конструкції генератора передбачено давачі напруги ДН та струму ДС.

Керування роботою генератора здійснюється за допомогою мікроконтролерного блоку управління БУ, який задає параметри сигналів, які необхідно генерувати, і команду на початок/зупинку генерації в блок генерації БГ. Крім цього, блок БУ керує блоком комутації КБ.

Користувач має змогу керувати роботою генератора за допомогою клавіатури К. Індикація режиму роботи відбувається на індикаторі І. Запам'ятовуючий пристрій ЗП використовується для зберігання поточних налаштувань генератора, а також для наперед заданих програм роботи генератора.

У структурній схемі приймача KI-1-П передбачено розміщення семи магнітних антен в трьох блоках: МА1-МА3 – в першому блоці; МА4 і МА5 та МА6 і МА7 відповідно в другому та третьому блоках.



МА1-МА7 – магнітні антени; ПП1-ПП7 – попередні підсилювачі; КП1-КП2 – керовані підсилювачі; КФ – керований фільтр; СЧ – синтезатор частоти; БПФ – блок програмування фільтра; ПН1-ПН2 – повторювачі напруги; Д – детектор; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; МП – мікроконтролер; КІЧ – стек протоколів інфрачервоного порту; ІЧ – інфрачервоний порт; КПК – кишеньковий комп'ютер; ДП – детектор переміщення; БЖ – блок живлення

Рисунок 3 – Структурна схема приймача КІ-1-П

Підсилення сигналів, отриманих від магнітних антен, здійснюється попередніми підсилювачами ПП1-ПП7. Підсилені сигнали надходять на керований підсилювач КП1, який дає змогу вибрати один із семи каналів і встановлювати коефіцієнт підсилення сигналу для подальшої обробки. Керування підсилювачем здійснюється за допомогою мікроконтролера МП. Вибраний сигнал надходить на керований фільтр КФ. Характеристики фільтра задаються мікроконтролером МП за допомогою синтезатора частоти СЧ та блоку програмування фільтра БПФ. Відфільтрований сигнал одночасно чотирма каналами надходить на керований підсилювач КП2. За командою мікроконтролера МП вибирається один із чотирьох сигналів, який за необхідності підсилюється. Вихідний сигнал із програмованого підсилювача подається на два повторювачі напруги ПН1 і ПН2. До виходу одного із повторювачів напруги під'єднаний детектор змінного сигналу Д.

Для перетворення аналогового сигналу у цифрову форму використовується двоканальний аналого-цифровий перетворювач АЦП. На один вхід АЦП надходить продетектований сигнал, а на інший – змінний сигнал. Зчитані дані з АЦП передаються на мікроконтролер МП.

Для оброблення вимірних сигналів та контролю за процесом діагностування використовується портативний комп'ютер КПК, що відкриває широкі можливості для оброблення алгоритмів обчислення і збереження даних. Передавання даних між мікроконтролером і КПК відбувається через інфрачервоний порт. Для цього реалізовано прийомо-передавач для ін-

фрачервоного протоколу ІЧ та стек протоколів інфрачервоного порту КІЧ. Використання стеку протоколів дає можливість встановлювати з'єднання за допомогою різноманітних протоколів і зробити процес з'єднання універсальним.

За допомогою інфрачервоного з'єднання КПК передає команди управління на мікроконтролер, який створює і передає команди управління на керовані підсилювачі, фільтр, АЦП.

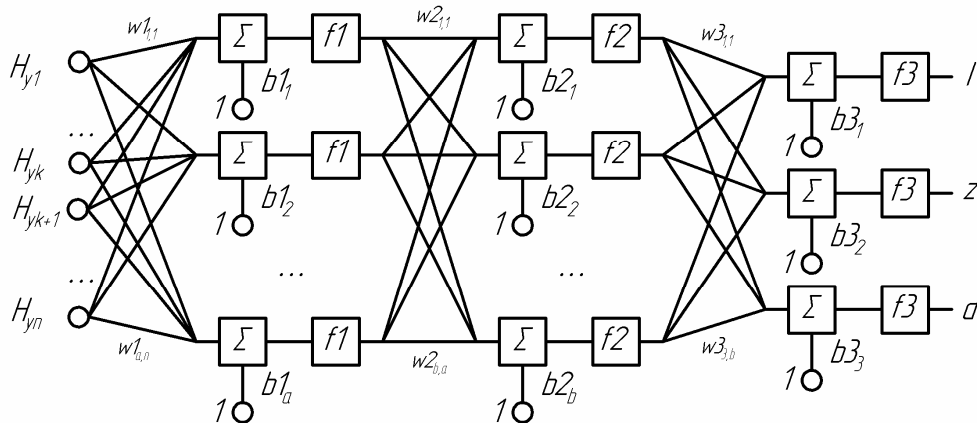
За допомогою розробленої системи можна реалізувати три методики безконтактного визначення струму I в стінці підземного трубопроводу.

Згідно з першою методикою, яка передбачає вимірювання напруженості магнітного поля в одній точці над підземним трубопроводом за допомогою відповідних магнітних антен системи, подальший автоматичний розрахунок блоком МП приймача КІ-1-П струму I в його стінці в точці контролю здійснюється таким чином [13]:

$$I = \frac{2\pi a^2 U_{x1} \left(1 + \frac{z^2}{a^2}\right) \sqrt{1 + \frac{U_{y1}^2 k_{x1}^2}{U_{x1}^2 k_{y1}^2}}}{z \mu_0 k_{x1}}, \quad (1)$$

де z – відстань по вертикалі від блоку магнітних антен до осі підземного трубопроводу, яка на основі вимірних напруг на виходах відповідних магнітних антен автоматично визначається блоком МП приймача КІ-1-П так:

$$z = \frac{b U_{y1} U_{y2} k_{z1} k_{z2}}{U_{y1} U_{z2} k_{z1} k_{y2} \mp U_{y2} U_{z1} k_{z2} k_{y1}}; \quad (2)$$



$w1 - w3$ – матриці вагових коефіцієнтів; $b1 - b3$ – матриці коефіцієнтів зміщення; $f1 - f3$ – передавальні функції; Σ – суматори; a, b – кількість нейронів першого і другого шарів ШНМ

Рисунок 4 – Структура нейромережі для визначення інформативних параметрів одного трубопроводу

b – відстань між блоками магнітних антен приймача КІ-1-П (база), яку встановлюють заздалегідь, наприклад, 0,25 м;

β – кут між віссю трубопроводу і віссю блока магнітних антен, який на основі вимірних напруг на виходах відповідних антен розраховується автоматично так:

$$b = \arctg \frac{U_{y1}k_{x1}}{U_{x1}k_{y1}}; \quad (3)$$

a – відстань в перпендикулярному напрямку до осі підземного трубопроводу від середнього блока магнітних антен приймача КІ-1-П, яка блоком МП автоматично розраховується так:

$$a = \frac{bU_{y2}U_{z1}k_{z2}k_{y1} \sin \beta}{U_{y1}U_{z2}k_{z1}k_{y2} \mp U_{y2}U_{z1}k_{z2}k_{y1}}; \quad (4)$$

μ_0 – магнітна стала; $U_{x1}, U_{y1}, U_{z1}, U_{y2}$,

U_{z2} – вихідні напруги магнітних антен МА1, МА2, МА3, МА4, МА5, відповідно;

$k_{x1}, k_{y1}, k_{z1}, k_{x2}, k_{z2}$ – коефіцієнти калібрування магнітних антен (В/Тл). Знак «-» відповідає положенню блоків вказаних магнітних антен з однієї із сторін траси підземного трубопроводу (фази сигналів U_{z1} і U_{z2} однакові), знак «+» відповідає положенню блоків магнітних антен з різних сторін траси підземного трубопроводу (фази сигналів U_{z1} і U_{z2} зміщені на 180°).

Друга методика передбачає використання в КІ-1-П розробленої штучної нейронної мережі (ШНМ), для якої вхідними даними буде масив значень напружень горизонтальної складової магнітного поля $H_{y1}, H_{y2}, \dots, H_{yn}$, отриманих в результаті проходження в перпендикулярному напрямку без зупинок над контрольованим підземним трубопроводом з одного боку на другий з автоматичним визначенням координат y_1, y_2, \dots, y_n , а вихідними даними бу-

дуть струм I в стінці трубопроводу, віддаль z по вертикалі від блоку магнітних антен до осі підземного трубопроводу, а також віддаль d початкової точки до осі трубопроводу в горизонтальному напрямку [14]. Строга залежність між вказаними величинами є такою:

$$H_y(y) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{Iz}{z^2 + (y_i - d)^2}, \quad (5)$$

де y_i – відстань точки контролю по горизонталі до початкової точки.

Структурна схема ШНМ для визначення параметрів I, z і d для одного трубопроводу зображена на рис. 4.

Тренування ШНМ здійснювалося за допомогою 2000 профілів $H_{yi} = f(y_i, I, z, d)$ згідно з (5) для різних реально можливих значень $I=(0,18 \div 2)$ А, $z=(0,6 \div 2,8)$ м і $d=(2 \div 4,7)$ м.

Третя методика передбачає використання надлишкової кількості вимірних значень напружень горизонтальної складової магнітного поля $H_{yi} (i=1 \div n)$ для визначення значень I, z і d при умові, що $n > 3$. В цьому випадку в результаті відповідного перетворення (5) можна отримати n умовних рівнянь виду

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 = c_i, \quad (6)$$

на основі яких можна одержати таку систему нормальних рівнянь [15]:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (a_{i1}^2)x_1 + \sum_{i=1}^n (a_{i1}a_{i2})x_2 + \sum_{i=1}^n (a_{i1}a_{i3})x_3 = \sum_{i=1}^n (c_i a_{i1}), \\ \sum_{i=1}^n (a_{i2}a_{i1})x_1 + \sum_{i=1}^n (a_{i2}^2)x_2 + \sum_{i=1}^n (a_{i2}a_{i3})x_3 = \\ = \sum_{i=1}^n (c_i a_{i2}), \\ \sum_{i=1}^n (a_{i3}a_{i1})x_1 + \sum_{i=1}^n (a_{i3}a_{i2})x_2 + \sum_{i=1}^n (a_{i3}^2)x_3 = \sum_{i=1}^n (c_i a_{i3}), \end{cases} \quad (7)$$

де: $x_1 = Iz$, $x_2 = z^2 + d^2$, $x_3 = d$, $a_{i1} = 1$,
 $a_{i2} = -2\pi H_{yi}$, $a_{i3} = 4\pi H_{yi} y_i$, $c_i = 2\pi H_{yi} y_i^2$,
 $i = 1 \div n$.

Розв'язавши (7) відносно $x_1 \div x_3$, значення параметрів d , z , I знаходять так:

$$d = x_3, z = \sqrt{x_2 - d^2}, I = x_1 / z. \quad (8)$$

Оцінка якості ізоляційного покриття підземних трубопроводів здійснюється на основі коефіцієнта затухання струму, який визначається за залежністю [16]:

$$\alpha = \frac{2000}{\Delta l} \left| \lg \left(\frac{I_{n+1}}{I_n} \right) \right|, \quad (9)$$

де: I_n, I_{n+1} – визначені струми в стінці трубопроводу в двох сусідніх точках; Δl – відстань між цими точками.

Кожна із вказаних вище методик має свої переваги і недоліки, а саме:

– перша методика дає змогу визначити струм в стінці тільки одного трубопроводу, похибка такого визначення струму буде визначатися як для одноразового вимірювання, і її імовірність буде значною. Однак швидкодія цієї методики є більшою у порівнянні з 2-ою і 3-ою методиками;

– друга методика передбачає попереднє тренування ШНМ з використанням результатів розрахунків струмів для різних можливих ситуацій, в т. ч. і таких, які можуть мати місце при конкретному обстеженні підземного трубопроводу. Слід відмітити, що ця методика може бути використана і для одночасного визначення струмів в стінках двох паралельних гальванічно з'єднаних між собою підземних трубопроводах, які прокладені на незначних (до 20 м) відстанях. Похибка визначення струму в стінці підземного трубопроводу з використанням ШНМ буде меншою, ніж у випадку використання 1-ої методики, однак тривалість процесу визначення струму буде більшою, так як передбачає проходження із приймачем КІ-1-П в перпендикулярному напрямку з одного боку траси трубопроводу в інший;

– третя методика також передбачає проходження із приймачем КІ-1-П в перпендикулярному напрямку з одного боку траси трубопроводу в інший. Вона також може бути використана для визначення струмів у стінках двох паралельних підземних трубопроводів. Похибка визначення струму з використанням цієї методики в результаті використання надлишкової вимірної інформації буде меншою у порівнянні з 1-ою методикою.

Аналізуючи описані вище методики безконтактного визначення струму в стінках ізолюваних підземних трубопроводів, структурну схему розробленої системи контролю, яка призначена для реалізації цих методик, а також її окремі блоки і вузли, можна відмітити, що основними чинниками, які впливають на точність отримуваних результатів визначення струму, є:

– методичні похибки, властиві конкретній методиці контролю;

– інструментальні похибки, обумовлені похибками конкретних блоків системи підчас вимірювання напруженостей магнітного поля над контрольованими трубопроводами.

Основним чинником, що впливає на методичну похибку 1-ої методики, є відповідність залежності (1) залежності (5). Оскільки залежність (1) отримана з урахуванням схеми розміщення блоків антен системи відносно контрольованого трубопроводу без будь-яких припущень, нехтувань тощо, а також строгості залежності (5) [13], то можна вважати, що методична похибка 1-ої методики відсутня.

Основним чинником, який впливатиме на методичну похибку 2-ої методики визначення струмів у стінках підземних трубопроводів є похибка тренування розробленої ШНМ (рис. 4).

Згідно з аналізом результатів процесу тренування ШНМ на базі 2000 випадкових даних входних параметрів слід вважати, що відносна похибка тренування ШНМ є для контролю з її допомогою одного підземного трубопроводу становить $5 \cdot 10^{-7}$ при кількості циклів тренування 565, а відносна похибка є тренування для контролю з її допомогою двох підземних трубопроводів становить $5 \cdot 10^{-7}$ при кількості циклів 1851. Очевидно, що із збільшенням кількості випадкових даних входних параметрів для тренування ШНМ похибка тренування буде зменшуватися. Однак це суттєво збільшує час тренування. Для 2000 таких входних даних час тренування для одного трубопроводу становив 10 хв., для тренування ШНМ для контролю двох підземних трубопроводів при 2000 входних даних з відносною похибкою $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-7}$ час тренування становив 31 хв.

Основними чинниками, які впливають на методичну похибку 3-ої методики визначення струмів у стінках одного чи двох підземних трубопроводів є похибка методики одержання необхідної кількості нормальних рівнянь на базі значно більшої кількості умовних рівнянь, похибка методики отримання лінійних умовних рівнянь на базі нелінійного рівняння (5), похибка методики подальшого визначення середніх квадратичних відхилень (СКВ) параметрів I , z і d для одного трубопроводу на основі отриманих значень СКВ проміжних параметрів x_1 , x_2 і x_3 в результаті розв'язку системи нормальних рівнянь (7).

Оскільки процедура отримання нормальних рівнянь на базі умовних рівнянь і розв'язання нормальних рівнянь передбачено здійснювати за допомогою КПК системи КІ-1 і розробленого програмного забезпечення, то можна вважати, що методична похибка 3-ої методики відсутня.

Абсолютне значення інструментальної похибки Δ_{I1} 1-ої методики безконтактного визначення струму I розробленою системою контролю КІ-1 можна визначити диференціальним методом [17], приймаючи безконтактне визначення струму в стінці підземного трубопроводу

цією методикою як опосередковане визначення цього струму з одноразовими вимірюваннями аргументів, тобто

$$\Delta_{I1} = \sum_{j=1}^q \frac{\partial I}{\partial c_j} \Delta c_j, \quad (10)$$

де: q – кількість аргументів c_j , які впливають на струм I ; Δc_j – абсолютна похибка визначення c_j -го аргумента.

При використанні 1-ої методики струм I визначається залежністю (1), а кількість аргументів, які впливають на цей струм $q=6$ (U_{x1} , U_{y1} , U_{z1} , U_{y2} , U_{z2} , b).

При використанні 2-ої методики струм I згідно (5) визначається так:

$$I = \frac{2\pi U_{y3i}}{K_{y3}\mu_0 z} (z^2 + (y_i - d)^2), \quad (11)$$

де $H_y(y) = U_{y3i} / (K_{y3}\mu_0)$.

В цьому випадку кількість аргументів $q=4$ (U_{y3i} , z , y_i , d), із яких U_{y3i} і y_i – це аргументи, які багаторазово визначаються при проходженні в перпендикулярному напрямку через вісь підземного трубопроводу, а параметри z і d визначаються за допомогою натренованої ШНМ.

Розрахунок абсолютного значення інструментальної похибки Δ_{I2} в цьому випадку необхідно здійснювати як і при обробленні результату опосередкованого вимірювання з багаторазовими вимірюваннями аргументів [17].

При використанні 3-ої методики абсолютну похибку Δ_{I3} визначення струму I в стінці підземного трубопроводу здійснюють згідно методики, описаної в [17].

В процесі експериментального дослідження системи КІ-1 були визначені такі значення коефіцієнтів калібрування семи вимірювальних каналів системи КІ-1 з магнітними антенами МА1÷МА7: $K_{x1} = 5,11\text{В/Тл}$; $K_{y1} = 5,05\text{В/Тл}$; $K_{z1} = 5,01\text{В/Тл}$; $K_{y2} = 5,08\text{В/Тл}$; $K_{z2} = 4,95\text{В/Тл}$; $K_{y3} = 5,03\text{В/Тл}$; $K_{z3} = 4,97\text{В/Тл}$ з однаковими похибками перетворення $\Delta K = \pm 0,05\text{В/Тл}$.

Магнітна індукція B у центрах магнітних антен під час калібрування становила $0,7146\text{Тл}$, а змінні напруги на виходах каналів були такими: $U_{x1} = 3,65\text{В}$; $U_{y1} = 3,64\text{В}$; $U_{z1} = 3,58\text{В}$; $U_{y2} = 3,63\text{В}$; $U_{z2} = 3,69\text{В}$; $U_{y3} = 3,59\text{В}$; $U_{z3} = 3,55\text{В}$. Абсолютна похибка ΔU всіх вимірювальних каналів системи КІ-1 не перевищувала $0,01\text{В}$. Віддаль між центрами блоків магнітних антен у приймачі КІ-1-П $b = 0,250 \pm 0,002\text{ м}$. З урахуванням вказаного вище було встановлено, що відносна похибка системи КІ-1 при безконтактному визначенні струму в стінці одного трубопроводу не перевищує при використанні 1-ої методики $4,5\%$, 2-ої методики – $2,0\%$, 3-ої методики – $1,5\%$.

При безконтактному визначенні струмів у стінках двох підземних гальванічно з'єднаних трубопроводів відносна похибка у результаті використання 2-ої методики не перевищує $3,5\%$, 3-ої методики – $4,0\%$.

Вказані результати метрологічного аналізу були експериментально підтверджені в результаті проведення досліджень системи КІ-1 на дослідній наземній установці з використанням металевих проводів як імітаторів підземних трубопроводів.

Література

- 1 Яворський А.В. Безконтактний контроль стану ізоляційного покриття гальванічно з'єднаних паралельних промислових нафтогазопроводів [Текст] / А.В.Яворський, І.С.Кісіль // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2004. – № 3. – С. 36-41.
- 2 Стрижевский И.В. Защита металлических сооружений от подземной коррозии [Текст] : Справочник / [И.В.Стрижевский А.М.Зиневич, К. К. Никольский и др.]. – М.: Недра, 1981. – 293 с.
- 3 Трубопроводы сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. (4000 – 1: 2001, IDT) [Текст] : ДСТУ 4219-2003. – Київ: Держспоживстандарт України, 2003. – 68 с.
- 4 Джала Р.М. Електромагнітні обстеження і контроль корозії трубопроводів [Текст] // 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.
- 5 Искатель поврежденной изоляции газопроводов ИПИТ-2 Паспорт. [Електронний ресурс] : КБ Белгазтехника. 2000. – Назва з титул. екрану.
- 6 Искатель поврежденной Универсал-911. Паспорт. [Електронний ресурс]: “Кварц-электроник”. 2000. – Назва з титул. екрану.
- 7 Апаратура нахождения повреждения изоляции АНПИ-А. Паспорт. [Електронний ресурс]: БПО “Прогрес”. 2001. – Назва з титул. екрану.
- 8 Связьприбор [Електронний ресурс]: www.svpribo.ru. 2009. – Назва з титул. екрану.
- 9 C-SCAN System [Електронний ресурс]: www.dynalog.com. 2009. – Назва з титул. екрану.
- 10 Radiodetection Ltd [Електронний ресурс]: www.radiodetection.com. 2009. – Назва з титул. екрану.
- 11 Джала Р.М. Апаратура БІТ-КВП з комп'ютерною обробкою результатів обстежень підземних комунікацій [Текст] / Р. М. Джала, Б. Я. Вербенець, О. І. Сенюк // Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика: Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2001. – № 415. – С. 100-104.

12 Яворський А. В. Особливості контролю ізоляційного покриття підземних нафтобазопроводів за допомогою пристрою БКІТ-2 [Текст] / А. В. Яворський // *Методи і прилади контролю якості*. – 2003. – №11 – С. 47-50.

13 Патент 88698 Україна. МПК(2009) G01V 3/00. Спосіб визначення глибини і напрямку проходження підземного трубопроводу [Текст] / Костів Б.В., Кісіль І.С. ; заявник і власник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – а 2007 14314 ; заявлено 19.12.2007; опубл. 10.11.2009, Бюл. №21.. – 4 с. : іл.

14 Оцінка стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів на основі аналізу профілю напруженості магнітного поля над ними [Текст] / Б.В. Костів, І.С. Кісіль, Р.Т. Боднар // *Методи та прилади контролю якості*. – 2007. – №18. – С.17-21.

15 Кісіль І.С. Методика обробки результатів багатократних спостережень напруженості магнітного поля при безконтактному визначенні параметрів підземних нафтогазопроводів [Текст] / І.С. Кісіль, Б.В. Костів // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Прилади та методи неруйнівного контролю. – Харків: НТУ «ХПІ». – № 14 . – 2009. – С. 11-19.

16 Методика оценки фактического положения и состояния подземных трубопроводов (ВРД 39-1.10-026-2001) [Текст] : ВРД 39-1.10-026-2001. – [Действительный от 29-01-2001 г.]. – М.: ВНИИГАЗ, 2001, - 62с.

17 Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань [Текст] : Навч. посібник. / І.С. Кісіль. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 400 с. – ISBN 996-7327-80-9.

Стаття надійшла до редакційної колегії

15.04.10

Рекомендована до друку професором

О. Є. Середюком