


622.692.4.076(043)

K72

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Костів Богдан Володимирович


622.692.4.076:620.19

УДК 681.2.08:621.370

K72

**УДОСКОНАЛЕННЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ В
СТІНКАХ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЇХ
ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кісіль Ігор Степанович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри методів та приладів контролю якості і сертифікації продукції.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Джала Роман Михайлович,
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, провідний науковий співробітник,
м. Львів.

доктор технічних наук, професор

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

Дранчук М.М.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із найбільш розповсюджених видів постачання значної кількості природного газу, нафти і нафтопродуктів споживачам є підземний трубопровідний транспорт, надійність роботи якого залежить і від безпосередньо стану підземних трубопроводів. Як правило підземні нафтогазопроводи є ізольованими. Однак із різних причин (технологічних, геологічних, тривалої експлуатації тощо) стан ізоляційного покриття підземних трубопроводів погіршується, що приводить до корозії металу трубопроводів, в результаті чого погіршуються якісні характеристики лінійної частини трубопроводів, що в багатьох випадках є причиною аварій.

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

Існуючі методи і засоби оперативного контролю стану ізоляційного покриття, які базуються на безконтактному визначенні струмів у стінках підземних трубопроводів і оцінці характеру зміни цих струмів вздовж траси, не завжди задовольняють вимогам щодо продуктивності процесу безпосереднього визначення вказаних струмів (особливо для паралельних трубопроводів) і їх метрологічних характеристик. Вказане певною мірою викликає складнощі при загальній оцінці стану ізоляційного покриття певних ділянок підземних трубопроводів та при плануванні проведення ремонтних робіт цих ділянок трубопроводів.

Тому актуальним є підвищення точності і продуктивності процесу безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів, що дозволить підвищити достовірність оцінки стану ізоляційного покриття цих трубопроводів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до тематичного плану виконання науково-дослідної держбюджетної теми кафедри "Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції" (МПКЯ і СП) Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) „Удосконалення методів, систем та технологій контролю якості нафтогазових процесів” та держбюджетної теми ІФНТУНГ „Наукові основи розробки методів, систем і нормативної бази для вимірювання витрати та контролю обладнання і технологічних параметрів у нафтогазовій галузі” (0109U008878).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів шляхом підвищення точності і продуктивності процесу безконтактного визначення цих струмів.

Відповідно до цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- здійснити аналіз існуючих підходів щодо безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів і щодо впливу різних факторів на процес визначення цих струмів;

- розробити удосконалений спосіб безконтактного визначення струму в стінці одного підземного трубопроводу на основі однократних вимірювань напруженості магнітного поля без необхідності розміщення магнітних антен в перпендикулярній до осі трубопроводу площині;

- розробити способи безконтактного визначення струмів в стінках підземних

трубопроводів шляхом удосконалення методики отримання значень точок профілів горизонтальної складової напруженості магнітного поля та їх опрацювання з використанням штучних нейронних мереж та умовно-нормальних рівнянь;

- розробити удосконалену інформаційно-вимірвальну систему для безконтактного визначення струмів у стінках підземних трубопроводів з реалізацією в ній запропонованих способів визначення струмів;

- здійснити метрологічний аналіз розроблених способів і системи безконтактного визначення струмів у стінках підземних трубопроводів та розробити установку для експериментального дослідження метрологічних характеристик розробленої та подібних систем;

- провести лабораторні, польові і промислові випробування розробленої системи безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів.

Об'єктом дослідження є процес витікання (зникання) в землю струму із стінок одного чи двох паралельних підземних трубопроводів тривалої експлуатації, які можуть бути електрично з'єднані між собою.

Предметом дослідження є способи безконтактного визначення струмів у стінках підземних трубопроводів і оцінка стану ізоляційного покриття на основі зміни цих струмів вздовж траси трубопроводів.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі для розв'язання поставлених задач використовувалися: методи теорії електромагнітного поля для розроблення способу безконтактного визначення струму в одному підземному трубопроводі та способу визначення точок профілів горизонтальної складової напруженості магнітного поля (профілювання) над одним або двома підземними трубопроводами; методи теорії штучних нейронних мереж для розроблення нейронних мереж для визначення струму в стінках одного або двох підземних трубопроводів; теоретичні засади оброблення результатів спостережень при надлишковості отриманої інформації для розроблення способів безконтактного визначення струмів в стінках одного або двох підземних трубопроводів; методи теорії інформаційно-вимірвальної техніки для розроблення системи безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів; методи теорії похибок вимірювань і математичного моделювання для виконання метрологічного аналізу розробленої системи.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропоновано використання нейронних мереж для безконтактного визначення струмів у стінках підземних трубопроводів за значеннями точок профілю горизонтальної складової напруженості магнітного поля і розроблено структуру таких нейронних мереж, що дало можливість підвищити точність і оперативність отримання результатів безконтактного визначення вказаних струмів.

2. Вперше запропоновано і теоретично обґрунтовано спосіб безконтактного визначення струмів в стінках трубопроводів з отриманням на основі значень точок профілю горизонтальної складової напруженості магнітного поля умовних рівнянь і розв'язком отриманих на їх основі нормальних рівнянь, що дозволяє підвищити точність і оперативність отримання результатів.

3. Запропоновано спосіб безконтактного визначення струму в стінці одного трубопроводу, який передбачає використання п'яти магнітних антен в двох блоках без їх орієнтації по відношенню до осі трубопроводу, що дало можливість зменшити кількість

магнітних антен.

4. Запропоновано спосіб автоматичної фіксації значень горизонтальної складової напруженості магнітного поля в процесі отримання профілю цієї складової з заданим кроком між точками при проходженні над підземними трубопроводами в перпендикулярному до їх осей напрямку, що дозволяє зменшити тривалість процесу отримання профілів напруженості магнітного поля.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблена і виготовлена система безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів, яка дає можливість реалізувати кожний із запропонованих способів такого визначення струмів, забезпечує прив'язку отриманих результатів до відповідних геофізичних координат за допомогою системи GPS, а також в результаті опрацювання значень струмів вздовж контрольованих трубопроводів отримати інформацію про стан їх ізоляційного покриття.

2. Проведені промислові випробування розробленої системи безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів в НГВУ „Надвірнанафтогаз”, в УМІ „Прикарпаттрансгаз” (КС „Богородчани”), а також польові і лабораторні їх випробування на спеціальному полігоні і розробленій установці. Результати цих випробувань підтвердили передбачувані технічні характеристики розробленої системи, а також дали можливість розробити рекомендації щодо використання різних методик визначення струмів в стінках підземних трубопроводів.

3. Розроблена установка для експериментальних досліджень різних систем і пристроїв безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів, яка дозволяє експериментально оцінювати метрологічні характеристики таких систем.

4. Розроблена система безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів і установка для експериментального дослідження метрологічних характеристик таких і подібних установок і пристроїв впроваджені в навчальний процес із студентами напряму „Приладобудування” і спец. „Прилади та системи неруйнівного контролю” ІФНТУНІ.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні, розрахункові та експериментальні результати з формулюванням відповідних висновків отримані автором самостійно. У роботах, які опубліковані у співавторстві, здобувачеві належить: [1] – обґрунтування кроку дискретизації горизонтальної складової напруженості магнітного поля для оцінки пошкодженої ізоляції підземних трубопроводів; [2] – запропоновано спосіб визначення дискретизованого із заданим кроком профілю горизонтальної складової напруженості магнітного при проходженні над двома трубопроводами в перпендикулярному напрямку; [3] – запропоновано спосіб одержання умовних рівнянь і переходу від них до нормальних при надлишковій кількості отриманих даних про напруженість магнітного поля над трубопроводами при проходженні із блоком магнітних антен в перпендикулярному напрямку над ними; [4] – розроблення нейронної мережі для безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів; [5] – обґрунтування використання 5-ти магнітних антен у розробленій системі безконтактного визначення струму в одному підземному трубопроводі; [6] – одержання залежності для визначення величини струму в стінці одного трубопроводу без орієнтації магнітних антен в перпендикулярній до траси трубопроводу площині і без переходу над ним в процесі проведення контролю.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та окремі результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях: V, VI, VII і VIII науково-практичних конференціях „Приладобудування 2006 (2007, 2008, 2009): Стан і перспективи” (м. Київ) – 2006 р., 2007 р., 2008 р., 2009 р.; XIV Міжнародній н/т конференції „Леотест-2009” (м. Славськ, Львівська обл.) – 2009р.; VI Національній технічній конференції і виставці „НКТД-2009” (м. Київ) – 2009р.; XXI відкритий н/т конференції молодих науковців і спеціалістів фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України (м. Львів) – 2009р.; V Міжнародній н/т конференції і виставці „Сучасні прилади, матеріали і технології для ПК і ТД машинобудівного і нафтопромислового обладнання” (м.Івано-Франківськ) – 2008р.; V н/т конференції студентів і аспірантів „Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні” (м. Київ) – 2009р.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 15 наукових робіт, з яких 5 – статті у фахових наукових виданнях, що входять до переліку ВАК України, 1 – патент України на винахід, 9 – тези доповідей на н/т конференціях.

Обсяг та структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, переліку використаної літератури та 20 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 247 сторінок, з яких основний зміст викладено на 160 сторінках друкованого тексту та 49 рисунках. Список використаних джерел складається із 89 найменувань. Додатки містять програми для визначення умовних і нормальних рівнянь, для розрахунку похибок, електричні схеми відповідних блоків розробленої системи, методики, протоколи та акти випробувань розробленої системи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів роботи.

У першому розділі виконано аналіз відомих методів та приладів контролю ізоляційного покриття підземних трубопроводів на основі результатів вимірювання струмів у їх стінках, викладено принципи роботи цих приладів, характеристики та особливості експлуатації. Основна увага приділена приладам і методам, які базуються на безконтактному визначенні вказаних струмів, що є найбільш доцільним з точки зору оперативності контролю.

На підставі проведеного аналізу літературних джерел визначено основні недоліки існуючих приладів безконтактного визначення струмів у стінках підземних трубопроводів.

Високу точність пошуку дефектів з використанням магнітометричних методів має прилад ПОИСК-310Д-2. Це досягається за допомогою фазового методу пошуку пошкоджень. Недоліками цього методу є складність синхронізації генератора та приймального пристрою, а також імовірність пропуску зсуву фази.

Прилади АННІ-А, ИПК-01, ПОИСК-210Д-2, ТИ-051І, Сталкер-200 мають низьку чутливість та завалозахищеність. Деякі з них не мають можливості автоматизувати процес опрацювання результатів контролю, що збільшує час на проведення контролю.

Серед недоліків системи «Спруг 5» слід відзначити наявність тільки однієї частоти

при активному режимі пошуку. Система «Оникс ТМ2» дозволяє визначати струм у підземному трубопроводі з похибкою до 10%, що недостатньо для точного виявлення місць пошкодження ізоляційного покриття підземних трубопроводів.

При використанні приладів безконтактного контролю ізоляційного покриття С-SCAN, Radidetection PCM і БІТ-КВІІ можливі похибки вимірювань внаслідок неточності позиціонування відносно трубопроводу та відхилення приладу від площини, перпендикулярної до осі трубопроводу. Ці системи також не дозволяють контролювати близько розміщені паралельні трубопроводи.

Прилад БІТ-3, в якому використовують два блоки магнітних антен, що включають по дві антени в кожному, дає можливість вимірювати струм при довільному розміщенні бази антени у площині, перпендикулярній трубопроводу, з відхиленням від якої похибка зростає. Крім того названі прилади розраховані на міряння струму одного трубопроводу, коли інші струмопроводи достатньо віддалені. При використанні приладу БКІТ-2, який дає можливість міряти струми паралельних трубопроводів, виникають труднощі щодо точного визначення профілю напруженості магнітного поля, недоліком його є і значна тривалість проведення контролю.

З урахуванням наведеного сформульовані завдання, що потребують вирішення, та обрано напрямки теоретичних та експериментальних досліджень.

Другий розділ присвячений розробленню способу профілювання, методик обробки даних отриманих профілів напруженостей магнітного поля з метою визначення значень струмів, що протікають в стінках підземних трубопроводів.

При цьому за основу взято відомі залежності горизонтальної $H_x(y,z)$ і вертикальної $H_z(y,z)$ складових напруженості магнітного поля над підземними паралельними трубопроводами внаслідок протікання струмів в їх стінках.

На основі аналізу залежностей складових напруженості магнітного поля, виміряних за допомогою п'яти магнітних антен в двох блоках (рис. 1) на поверхні землі біля підземного трубопроводу та при дотриманні умови $b' > 0$ отримана така залежність для струму I в стінці цього трубопроводу:

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

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

$$a = \frac{h I_{y2} U_{z1} k_{z2} k_{y1} \sin \beta}{U_{y1} U_{z2} k_{z1} k_{y2} \mp U_{y2} U_{z1} k_{z2} k_{y1}}, \quad (3)$$

$$\beta = \arctg \frac{U_{y1} k_{x1}}{U_{x1} k_{y1}}, \quad (4)$$

$b = \Delta y$ – віддалі між центрами блоків магнітних антен; U_{y1} , U_{y2} , U_{z1} , U_{z2} , U_{x1} – напруги на входах магнітних антен 3, 6, 4, 7, і 5 відповідно; знак «-» в (2) та (3)

відповідає ситуації, коли зсув по фазі між U_{z1} і U_{z2} дорівнює 0° , а знак «+» – ситуації, коли цей зсув по фазі рівний 130° ; μ_0 – магнітна стала; k_{z1} , k_{z2} , k_{y1} , k_{y2} , k_{x1} – коефіцієнти перетворення котушок 3-7; $k=U/B$; U і B – напруга на виході котушки і індукція магнітного поля в точці розміщення котушки відповідно.

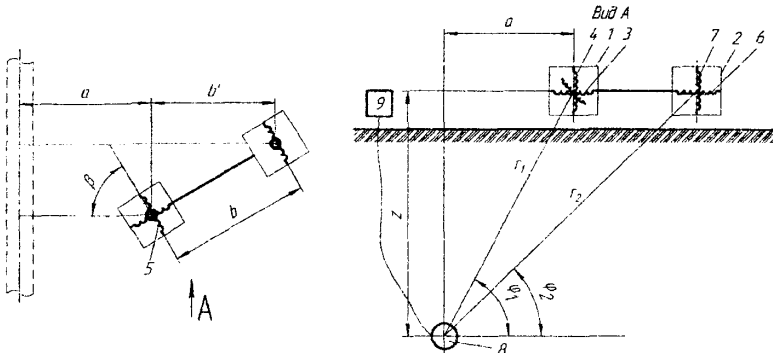


Рис. 1. Схематичне зображення системи магнітних антен для безконтактного визначення струму в стінці одного підземного трубопроводу: 1, 2 - блоки магнітних антен; 3-7- магнітні антени; 8- трубопровід; 9 - генератор змінного струму

Методика з використанням (1) пропонується для визначення струму в стінці одного трубопроводу і перевагою її використання є відсутність необхідності орієнтування бази b в площині, перпендикулярній до осі трубопроводу, та менша кількість вимірювальних антен у порівнянні з аналогами.

Для зменшення часу визначення значень горизонтальної складової напруженості магнітного поля (профілювання) в точках використовується спосіб, який передбачає використання трьох розміщених горизонтально на віддалі Δy магнітних антен (рис. 2). Профілювання відбувається шляхом перенесення вказаних трьох магнітних антен із однієї сторони трубопроводу на іншу в площині, перпендикулярній до осі трубопроводу. Запропонований спосіб базується на отриманні 3-х масивів даних напруженостей H_x , H_y , H_z , вимірюваних антенами A , B , C одночасно в моменти часу з інтервалом, наприклад, 0,1 с.

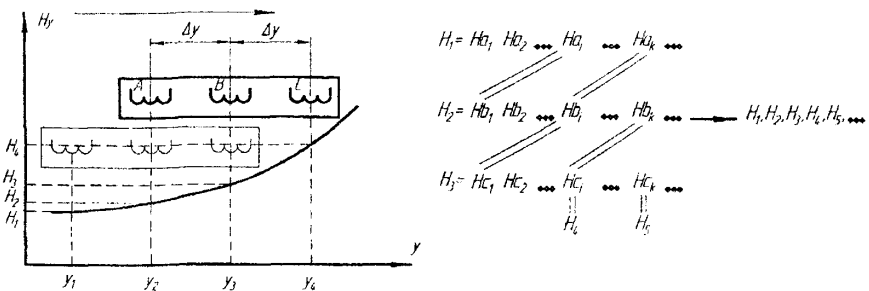


Рис. 2. Вимірювання напруженостей антенами A , B , C та обробка отриманих результатів

Алгоритм дискретизації полягає у порівнянні отриманих масивів даних і знаходженні рівних значень цих даних. Перше вимірювання буде містити три значення напруженості, які і будуть першими трьома точками профілю: $H_1 = Ha_1$, $H_2 = Hb_1$, $H_3 = Hc_1$. Далі в масивах H_a та H_b послідовно знаходять елементи, які відповідно рівні елементам Hb_1 та Hc_1 : $Hb_1 = Ha_i$ та $Hc_1 = Hb_j$. Елемент Hc_i буде містити значення наступної точки дискретизованого профілю, тобто $H_4 = Hc_i$. Далі операція пошуку повторюється і знаходять наступні пари значень $Hb_i = Ha_k$ та $Hc_i = Hb_k$ і визначається точка $H_5 = Hc_k$. Процедура повторюється до тих пір, поки не буде досягнута достатня кількість вимірних даних до і після переходу через трубопровід. В результаті пошуку точок за описаним алгоритмом отримують ряд значень $H_1, H_2, H_3, H_4, \dots$, які будуть відповідати профілю горизонтальної складової напруженості магнітного поля з кроком Δu . Оскільки отримані масиви містять завади, то і при дискретизації практично неможливо отримати три ідентичні набори даних для трьох антен. Тому пошук значень профілю виконують, не порівнюючи пари значень, а шукаючи діапазони, в яких виконується умова входження даних в дозволений діапазон. Наприклад, для пошуку значення H_4 профілю напруженості (рис. 3) спочатку знаходять індекс елементів i_{-1} , де починаються виконуватися умови $Ha_{i_{-1}} > H_2 - \frac{\alpha}{2} H_2$ та $Hb_{i_{-1}} > H_3 - \frac{\alpha}{2} H_3$, а потім визначають індекс елементів i_{-h} , де ще виконуються умови $Ha_{i_{-h}} < H_2 + \frac{\alpha}{2} H_2$ та $Hb_{i_{-h}} < H_3 + \frac{\alpha}{2} H_3$. Коефіцієнт α визначає ширину дозвольного діапазону ($\alpha = 0,015$). На основі отриманих індексів отримують індекс $i = (i_{-h} + i_{-1})/2$. Подальший пошук відбувається аналогічно. Таким чином $H_4 = Hc_i$.

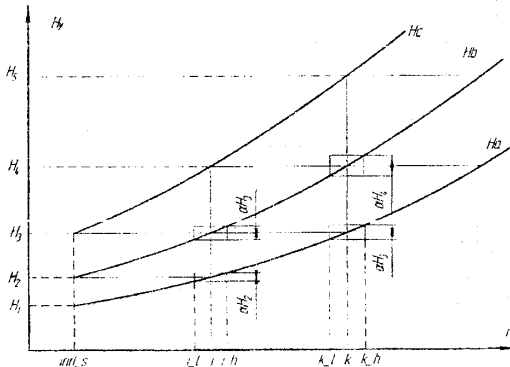


Рис. 3. Визначення точок профілю горизонтальної складової напруженості магнітного поля

Крім цього, для підвищення точності профілювання запропоновано використовувати згладжуючу інтерполяцію даних масивів, отриманих кожною із магнітних антен за допомогою кубічного сплайну, що дозволяє зменшити вплив завад і точніше фіксувати моменти рівності відповідних елементів масивів H_x , H_y , H_z .

Запропонований спосіб дискретизації був перевірений числовим моделюванням і на основі отриманих на експериментальній установці даних, що підтверджує його працездатність і дозволяє визначити значення горизонтальної складової напруженості H_{yi} і відповідні їм значення u_i з відносними похибками 1,5% і 1,0%. При застосуванні описаного способу профілювання розміщення котушок в перпендикулярній до трубопроводів площині здійснюється за мінімальною величиною поздовжньої складової напруженості магнітного поля. Відхилення від горизонтальної площини контролюється інклінометром та акселерометром.

Для визначення струмів в стінках одного і двох підземних трубопроводів при проходженні над ними з відповідними блоками антен в перпендикулярному напрямку і з використанням вказаного вище способу профілювання запропоновано спосіб з використанням нейронних мереж і спосіб з використанням умовно-нормальних рівнянь, отриманих в результаті надлишковості даних H_{yi} .

Для одного трубопроводу розроблена трьохшарова штучна нейромережа (ШНМ), яка має: входів – 30, виходів – 3; параметри першого шару: передавальна функція logsig , кількість нейронів – 25; параметри другого шару: передавальна функція logsig , кількість нейронів – 15; параметри третього шару: передавальна функція pureline , кількість нейронів – 3 (рис. 4.).

Кількість нейронів в першому шарі визначається кількістю точок профілю. Кількість нейронів у вихідному шарі визначається кількістю невідомих даних, які необхідно обчислити. Кількість нейронів в прихованому шарі визначалася експериментально по найменшій похибці ШНМ. Встановлено, що в якості передавальних функцій оптимальним є використання функцій logsig та pureline .

Для генерування навчального набору даних створена програма, яка формує 2000 довільних наборів значень сили струму, глибини залягання та відстані від точки початку вимірювань до осі трубопроводу d і, відповідно, 2000 профілів напруженості магнітного поля для таких даних.

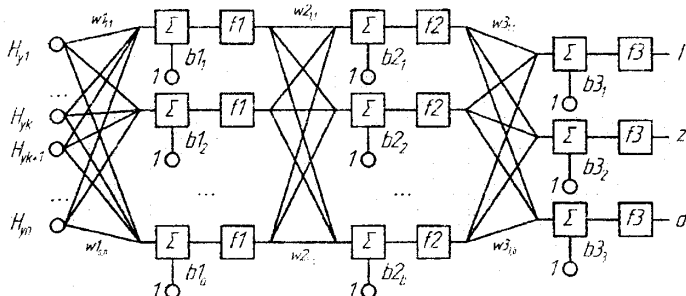


Рис. 4. Структура нейромережі для визначення інформативних параметрів одного трубопроводу

Для підвищення якості навчання та отримання ШНМ, яка буде мати вищу точність обчислень, до 1000 навчальних профілів горизонтальної складової напруженості магнітного поля додавалась адитивна похибка величиною до 5% із рівномірним законом розподілу та випадковим зміщенням.

Роботу отриманої ШНМ перевірено числовим моделюванням. Для цього генерувалися випадкові значення I, z, d . На їх основі розраховувались профілі горизонтальної складової напруженості магнітного поля, додавались описаним вище способом похибки і по цих даних ШНМ розраховувала значення вихідних параметрів.

Розроблення і дослідження ШНМ для двох паралельних трубопроводів виконано аналогічно. В цьому випадку трьохшарова ШНМ має: входів – 30, виходів – 6; параметри першого шару: передавальна функція logsig , кількість нейронів – 25; параметри другого шару: передавальна функція logsig , кількість нейронів – 15; параметри третього шару: передавальна функція pureline , кількість нейронів – 6.

Запропонований спосіб з використанням умовно-нормальних рівнянь полягає у отриманні на основі значень точок горизонтальної складової напруженості магнітного ряду умовних рівнянь та переходу від них до системи нормальних рівнянь, і з розв'язку якої можна знайти значення струму.

Умовні рівняння на основі горизонтальної складової для одного трубопроводу будуть в загальному такими:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 = c_i, \quad (5)$$

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

$c_i = 2\pi H_{yi}y_i^2$, $i = 1 \div n$, n - кількість пар значень H_{yi} і y_i .

На базі умовних рівнянь отримають систему 3-ох нормальних рівнянь виду:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (a_{i1}^2)x_1 + \sum_{i=1}^n (a_{i1}a_{i2})x_2 + \sum_{i=1}^n (a_{i1}a_{i3})x_3 = \sum_{i=1}^n (c_i a_{i1}), \\ \sum_{i=1}^n (a_{i2}a_{i1})x_1 + \sum_{i=1}^n (a_{i2}^2)x_2 + \sum_{i=1}^n (a_{i2}a_{i3})x_3 = \sum_{i=1}^n (c_i a_{i2}), \\ \sum_{i=1}^n (a_{i3}a_{i1})x_1 + \sum_{i=1}^n (a_{i3}a_{i2})x_2 + \sum_{i=1}^n (a_{i3}^2)x_3 = \sum_{i=1}^n (c_i a_{i3}). \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язавши (6) відносно $x_1 \div x_3$, значення параметрів d , z , I знаходять так:

$$d = x_3, \quad z = \sqrt{x_2 - d^2}, \quad I = x_1/z. \quad (7)$$

Аналогічним чином для двох трубопроводів отримані n умовних рівнянь виду:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 + a_{i4}x_4 + a_{i5}x_5 + a_{i6}x_6 + a_{i7}x_7 = c_i, \quad (8)$$

де $x_1 = I_1z_1 + I_2z_2$, $x_2 = b + 2d$, $x_3 = dI_1 \cdot z_1 + dI_2 \cdot z_2 + bI_1z$, $x_4 = I_1z_1z_2^2 + d^2I_1z_1 + 2dI_1z_1b + I_1z_1b^2 + I_2z_2z_1^2$, $x_5 = z_1^2z_2^2 + z_1^2b^2 + d^2(z_1^2 + z_2^2 + b^2) + d^4 + 2dz_1^2b$, $x_6 = z_1^2 + z_2^2 + b^2 + 6db + 6d^2$, $x_7 = d(z_1^2 + z_2^2 + b^2) +$

$$+ z_1^2 b + 3d^2 b + 2d^3, \quad a_{i1} = y_i^2, \quad a_{i2} = 4\pi H_{yi} y_i^3, \quad a_{i3} = -2y_i, \quad a_{i4} = 1, \quad a_{i5} = -2\pi H_{yi}, \\ a_{i6} = -2\pi H_{yi} y_i^2, \quad a_{i7} = 4\pi H_{yi} y_i, \quad c_i = 2\pi H_{yi} y_i^2, \quad i = 1 \div n.$$

В результаті переходу від умовних рівнянь (8) до нормальних рівнянь отримаємо таку систему рівнянь:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^7 \left(x_k \sum_{i=1}^n (A_{i,1} A_{i,k}) \right) = \sum_{i=1}^n (A_{i,1} C_i), \\ \sum_{k=1}^7 \left(x_k \sum_{i=1}^n (A_{i,2} A_{i,k}) \right) = \sum_{i=1}^n (A_{i,2} C_i), \\ \dots \\ \sum_{k=1}^7 \left(x_k \sum_{i=1}^n (A_{i,7} A_{i,k}) \right) = \sum_{i=1}^n (A_{i,7} C_i), \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{де } A_{i,j} = \begin{vmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,k} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n,1} & \dots & a_{n,k} \end{vmatrix}, \quad j = 1 \div k, \quad k = 7; \quad k - \text{кількість нормальних рівнянь.}$$

Розв'язавши систему рівнянь (9), знаходять змінні $x_1 \div x_7$, на основі яких в подальшому визначають параметри I_1, I_2, z_1, z_2, b, d .

Параметр d знаходять шляхом розв'язку такої системи рівнянь, яка отримана за допомогою персонального комп'ютера і програмного середовища Maple:

$$\begin{aligned} 8x_6 x_2^2 d^2 - x_6^2 x_2 d + x_6 x_2 x_7 - 16d^3 x_6 x_2 + 4d^2 x_2 x_7 - x_7^2 - 16x_2^3 d^3 + \\ + 8d^4 x_6 + d^2 x_6 - 48d^5 x_2 + 48d^4 x_2^2 + 16d^6 - 4d^4 x_2^2 x_7 = x_5 (2d - x_2)^2 \end{aligned} \quad (10)$$

при $d > 0, x_2 - 2d > 0$.

Параметр b розраховують так:

$$b = x_2 - 2d, \quad (11)$$

глибини z_1 і z_2 шляхом розв'язку такої системи рівнянь:

$$\begin{cases} d(z_1^2 + z_2^2 + b^2) + z_1^2 \cdot b + 3d^2 b + 2d^3 = x_7, \\ z_1^2 + z_2^2 + b^2 + 6 \cdot d \cdot b + 6 \cdot d^2 = x_6 \end{cases} \quad (12)$$

при $z_1 > 0, z_2 > 0$,

а струми I_1 і I_2 шляхом розв'язку таких рівнянь:

$$\begin{cases} I_1 z_1 + I_2 z_2 = x_1, \\ dI_1 z_1 + dI_2 z_2 + bI_1 z_1 = x_3. \end{cases} \quad (13)$$

В цьому розділі також конкретизовані вимоги до системи безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів з реалізацією в ній одночасно всіх вказаних вище способів для одного і двох трубопроводів.

У третьому розділі описані основні аспекти розробленої системи КІ-1 (рис. 5), яка включає приймач сигналів 1 та генератор сигналів 2. Структурна схема приймача 1 приведена на рис. 6.

Програмне забезпечення для портативного комп'ютера з метою реалізації всіх методик визначення струмів у трубопроводах було розроблено на мові програмування С# в середовищі Microsoft Visual Studio.

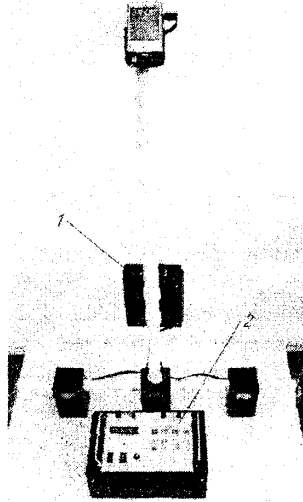


Рис. 5. Система безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів
1 – приймач сигналів; 2 – генератор сигналів

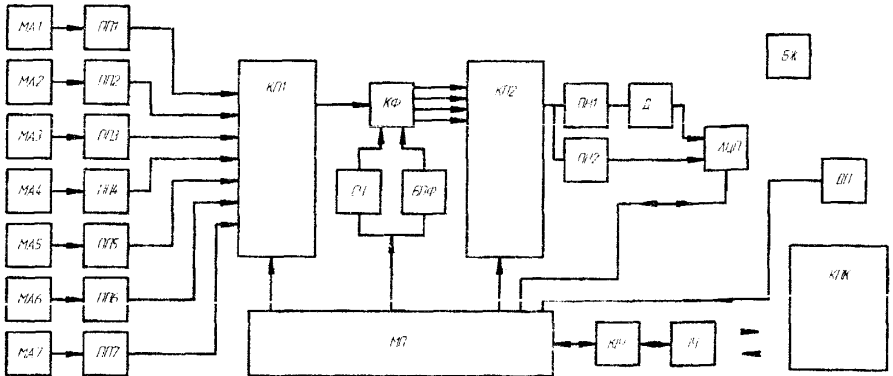


Рис. 6. Структурна схема приймача системи КІ-1: МА1-МА7 – магнітні антени; ПН1-ПН7 – попередні підсилювачі; КП1-КП2 – керовані підсилювачі; КФ – керований фільтр; СЧ – синтезатор частоти; БПФ – блок програмування фільтру; ПН1-ПН2 – повторювачі напруги; Д – детектор; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; МК – мікроконтролер; КІЧ – стек протоколів інфрачервоного порту; ІЧ – інфрачервоний порт; ПК – кишеньковий комп'ютер; ДП – детектор переміщення; БЖ – блок живлення

Методика проведення безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів системою КІ-1 передбачає такі етапи: підготовку до контролю, отримання профілів напруженості магнітного поля, опрацювання профілів згідно описаних методик та визначення місць пошкодження ізоляційного покриття підземних трубопроводів.

Оцінку якості ізоляційного покриття проводять за величиною коефіцієнта затухання струму $k_{зан}$ (мВ/м):

$$k_{зан} = \frac{2000}{\Delta l} \left| \lg \left(\frac{I_{n+1}}{I_n} \right) \right|, \quad (14)$$

де I_n, I_{n+1} - виміряні значення струму в двох сусідніх точках в стінці трубопроводу;
 Δl - відстань між цими точками.

У четвертому розділі наведено результати метрологічного аналізу розробленої системи безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів, вказані основні фактори, які впливають на точність системи.

Основним фактором, який впливає на методичну похибку вимірювання напруженості з використанням п'яти магнітних антен (1-ий спосіб) є строгість залежності (1), яка була отримана з урахуванням схеми розміщення блоків антен системи відносно контрольованого трубопроводу (рис. 1) без всяких припущень, нехтувань тощо. Тому можна вважати, що методична похибка 1-го способу відсутня.

Основним фактором, який впливатиме на методичну похибку визначення струмів в стінках підземних трубопроводів з використанням нейромереж (2-ий спосіб) є похибка тренування розробленої нейронної мережі, яка для одного і двох підземних трубопроводів становить $5 \cdot 10^{-7}$ при кількості циклів тренування 565 і 1851 відповідно.

Основними факторами, які впливають на методичну похибку визначення струмів в стінках одного чи двох підземних трубопроводів з використанням м умовно-нормальних рівнянь (3-ій спосіб) є похибка методики одержання необхідної кількості нормальних рівнянь на базі значно більшої кількості умовних рівнянь, 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 (6) і параметрів I_1 , I_2 , z_1 , z_2 , b і d на основі отриманих значень СКВ проміжних параметрів $x_1 \div x_7$ в результаті розв'язку системи нормальних рівнянь (9).

Інструментальні похибки системи КІ-1 при реалізації 1-го способу залежать від віддалі $b = \Delta y$ і її похибки в системі КІ-1, значень виміряних напруженостей задіяних в процес визначення струму вимірювальними каналами системи і їх похибок.

Інструментальні похибки системи КІ-1 при реалізації 2-го і 3-го способів залежать від віддалі $b = \Delta y$ і її похибки, від похибки визначення точок контролю системою КІ-1, значень виміряних напруженостей задіяних в процес визначення струму вимірювальними каналами системи і їх похибок.

Запропоновані методики визначення інструментальних похибок системи КІ-1 при реалізації всіх способів визначення струмів в стінках підземних трубопроводів з використанням диференціального методу обробки опосередкованих вимірювань. В

результаті отримані такі результати щодо відносних значень інструментальних похибок, ~~які~~ приведені в табл. 1.

Сумарна абсолютна похибка Δ розробленої системи КІ-1 на основі її окремих складових буде такою:

$$\Delta = \Delta I_{мет.} + \Delta I_{зав.} + \Delta I_{зовн.ф.} + \Delta I_{інстр.}, \quad (15)$$

де $\Delta I_{мет.}$, $\Delta I_{зав.}$, $\Delta I_{зовн.ф.}$, $\Delta I_{інстр.}$ – методична похибка системи КІ-1; похибка, що викликана впливом зовнішніх електромагнітних завод на струм в стінках трубопроводу і на вимірювальну схему системи КІ-1; похибка від впливу зовнішніх факторів (температури, вологості навколишнього середовища і ґрунтів, в яких знаходяться контрольовані трубопроводи), стабільності напруг живлення генератора і вторинного блоку системи КІ-1; інструментальна похибка системи КІ-1, відповідно.

Таблиця 1.

Інструментальні похибки системи КІ-1

Об'єкт контролю	Спосіб	Відносна похибка, %
Один трубопровід	1-й спосіб	3,51
	2-й спосіб	1,53
	3-й спосіб	0,25
Два трубопроводи	2-й спосіб	3,18
	3-й спосіб	3,92

Розроблена експериментальна установка для дослідження системи КІ-1 і подібних їй пристроїв.

В результаті проведених досліджень встановлено, що відносна похибка розробленої системи при визначенні струмів в стінках підземних трубопроводів для одного трубопроводу при однократному вимірюванні буде не більшою 4,5%, з використанням нейронної мережі – не більше 2,7%, з використанням умовних і нормальних рівнянь – не більше 1,9%, а для двох трубопроводів з використанням нейронної мережі – не більше 4,2%, з використанням умовних і нормальних рівнянь 5,5%, що дозволяє для конкретних умов з урахуванням необхідної точності і швидкодії вибирати відповідний спосіб безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів.

Експериментально отримані на макеті розробленої установки такі похибки системи КІ-1 безконтактного визначення струмів:

для 1-го трубопроводу із струмом $I = 250$ мА: при одноразовому вимірюванні п'ятьма магнітними антенами $\Delta I_{інстр.1} = 10,63$ мА, $\delta = 4,15\%$; з використанням нейронної мережі $\Delta I_{інстр.1} = 4,95$ мА, $\delta = 1,98\%$; з використанням умовних і нормальних рівнянь $\Delta I_{інстр.1} = 3,62$ мА, $\delta = 1,45\%$;

для 1-го із двох трубопроводів із струмом $I_1 = 250$ мА: з використанням нейронної мережі $\Delta I_{інстр.2} = 8,61$ мА, $\delta = 3,44\%$; з використанням умовних і нормальних рівнянь

$\Delta I_1 \text{ instr.2} = 9,78 \text{ мА}, \delta = 3,91\%$;

для 2-го із двох трубопроводів із струмом $I_2 = 248 \text{ мА}$: з використанням нейронної мережі $\Delta I_2 \text{ instr.2} = 7,47 \text{ мА}, \delta = 3,45\%$; з використанням умовних і нормальних рівнянь

$\Delta I_2 \text{ instr.2} = 9,85 \text{ мА}, \delta = 3,98\%$.

У п'ятому розділі основна увага приділена лабораторним, польовим і промисловим випробуванням системи КІ-1 згідно розроблених методик їх проведення, а також аналізу отриманих результатів цих випробувань. Лабораторні випробування проводилися на розробленій установці, польові – на навчальному полігоні кафедри ТД і М ІФНГУНГ, промислові – на компресорній станції (КС) «Богородчани» УМГ «Прикарпаттрансгаз» і в НГВУ «Надвірнафтогаз».

На основі аналізу результатів лабораторних випробувань було встановлено, що максимальна відносна похибка системи КІ-1 при визначенні струму першим способом складає 4,25 %, другим способом – 1,4%, третім способом – 2,0%.

За результатами проведених польових випробувань було встановлено дві ділянки значного витікання струму на відстані 11 м та 13 м від точки початку обстеження, в яких наявні пошкодження ізоляційного покриття. Значне зменшення зникання струму вздовж всієї ділянки трубопроводу пояснюється великою вологістю ґрунту.

Схема промислових випробувань на КС «Богородчани» аналогічна схемі польових випробувань. Графік затухання струму в контрольному трубопроводі діаметром 1420 мм на КС «Богородчани» приведений на рис. 7.

Аналізуючи зміну струму (рис. 7), можна сказати, що ізоляція трубопроводу діаметром 1420 мм за винятком проміжку 14-20 м добра. Зміна на ділянці 14-20 м виникла за рахунок екранування сигналу від трубопроводу. В цьому місці знаходилися бетонні плити, в яких була металева арматура.

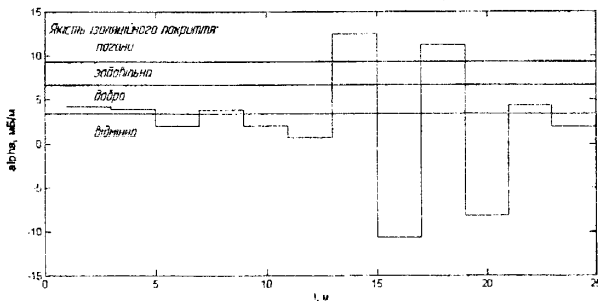


Рис. 7. Графік затухання струму в стінках підземного газопроводу на КС «Богородчани»

Схема промислових випробувань в НГВУ «Надвірнафтогаз» також була аналітична схемі польових випробувань. Графік зміни струму в підземному нафтопроводі діаметром 530 мм і довжиною 70 м в НГВУ «Надвірнафтогаз» приведений на рис. 8.

За результатами проведених промислових випробувань (рис. 8) було встановлено, що на ділянці 0-18 м мають місце численні пошкодження ізоляційного покриття. На

проміжках 46-48 м та 64-66 м якість ізоляційного покриття задовільна. На інших ділянках якість ізоляційного покриття добра.

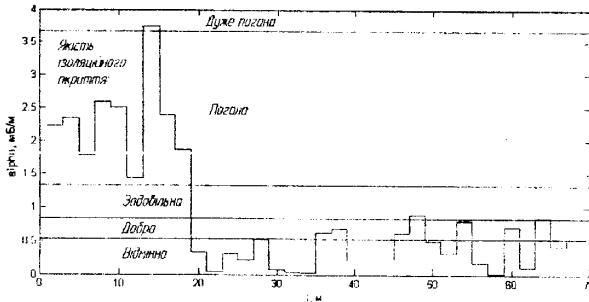


Рис. 8. Графік затухання струму в стінках нафтопроводу в НГВУ «Надвірна нафтогаз»

ВИСНОВКИ

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-технічна задача, яка полягає в розробці системи і методик безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів, що забезпечує можливість оцінки стану ізоляційного покриття трубопроводів, підвищення точності результатів визначення струмів і продуктивності процесу безконтактних вимірювань. При цьому отримані такі результати:

1. Проведений аналіз відомих методів, способів та пристроїв для визначення струмів в стінках ізованих підземних трубопроводів. На підставі проведеного аналізу визначено основні недоліки існуючих методів і приладів безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів і сформульовані завдання, що потребують вирішення, та обрано напрямки подальших теоретичних та експериментальних досліджень.

2. Отримані аналітичні залежності для визначення струму в стінці одного підземного трубопроводу без необхідності орієнтації бази системи контролю в перпендикулярній до осі трубопроводу площині, що дало можливість зменшити до п'яти кількість магнітних антен.

3. Запропонований спосіб автоматичного профілювання горизонтальної складової напруженості магнітного поля при проходженні над підземними трубопроводами в перпендикулярному до їх осей напрямку, що дозволяє зменшити тривалість процесу отримання цих профілів напруженості.

4. Запропонована і експериментально підтверджена можливість використання трьохшарової нейронної мережі для безконтактного визначення струмів у стінках підземних трубопроводів, що дало можливість підвищити точність результатів безконтактного визначення вказаних струмів.

5. Розроблена і експериментально підтверджена можливість безконтактного визначення струмів у стінках підземних трубопроводів з отриманням умовних і розв'язком нормальних рівнянь з використанням надлишкової кількості даних про горизонтальну складову напруженості магнітного поля, що дало можливість підвищити точність результатів безконтактного визначення вказаних струмів.

6. Розроблена і виготовлена система безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів, яка дає можливість реалізувати кожен із запропонованих способів визначення струмів.

7. Розроблена методика і здійснений метрологічний аналіз розробленої системи, в результаті чого оцінені методичні і інструментальні похибки, що дає можливість вибирати відповідний із розроблених способів визначення струмів для оцінки ізоляційного покриття одного чи двох трубопроводів. Встановлено, що відносна похибка розробленої системи при визначенні струмів в стінках підземних трубопроводів для одного трубопроводу при однократному вимірюванні буде не більшою 4,5%, з використанням нейронної мережі – не більше 2,7%, з використанням умовних і нормальних рівнянь – не більше 1,9%, а для двох трубопроводів з використанням нейронної мережі – не більше 4,2%, з використанням умовних і нормальних рівнянь 5,5%.

8. Розроблена установка для експериментальних досліджень різних систем і приладів для безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів, яка дозволяє експериментально досліджувати такі системи і прилади для контролю ізоляційного покриття одного і двох підземних трубопроводів.

9. Проведені промислові випробування розробленої системи безконтактного визначення струмів у стінках підземних трубопроводів в НІВУ „Надвірна нафтогаз”, в УМІ „Прикарпаттрансгаз” (КС „Богородчани”), а також польові їх випробування на спеціальному полігоні Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Результати цих випробувань підтвердили передбачувані технічні характеристики розробленої системи контролю, а також дали можливість розробити рекомендації щодо використання розроблених способів визначення струмів в стінках підземних трубопроводів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кісіль І.С. Використання горизонтальної складової напруженості магнітного поля при визначенні параметрів пошкодженої ізоляції підземних трубопроводів / І.С. Кісіль, А.В. Яворський, Б.В. Костів // *Методи і прилади контролю якості*. – 2005. – №14 – С.70-73.
2. Костів Б.В. Вимірювання напруженості магнітного поля над паралельними підземними нафтогазопроводами з метою безконтактного контролю їх ізоляції / Б.В. Костів, І.С. Кісіль // *Методи та прилади контролю якості*. - 2007. – №17. – С.37-40.
3. Кісіль І.С. Методика обробки результатів багатократних спостережень напруженості магнітного поля при безконтактному визначенні параметрів підземних нафтогазопроводів / 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.
4. Костів Б.В. Оцінка стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів на основі аналізу профілю напруженості магнітного поля над ними / Б.В. Костів, І.С. Кісіль, Р.Т. Боднар // *Методи та прилади контролю якості*. - 2007. - №18. - С.17-21.
5. Пат. 88698 Україна. G01V 3/00. Спосіб визначення глибини і напрямку

проходження підземного трубопроводу / Костів Б.В., Кісіль І.С.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу - №200714314; заявл. 19.12.07; опубл. 10.11.2009, Бюл. №21.

6. Костів Б.В. Вдосконалення системи магнітних антен для безконтактного визначення струму в стінках підземного трубопроводу в процесі контролю його ізоляції / Б.В. Костів, І.С. Кісіль // *Методи та прилади контролю якості*. - 2007. - № 19. - С. 31-34.

7. Кісіль І.С. Оптимізація процесу контролю ізоляційного покриття декількох гальванічно з'єднаних підземних трубопроводів покриття / І.С. Кісіль, Б.В. Костів // *Збірник тез доповідей V міжнародної науково-практичної конференції «Приладобудування 2006: стан і перспективи»*, 25-26 квітня 2006р., м.Київ, ІНФ, НТУУ «КПІ», 2006. - С. 250-251.

8. Костів Б.В. Використання нейронних мереж при діагностиці стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів / Б.В. Костів // *Збірник тез доповідей VI науково-практичної конференції «Приладобудування: стан і перспективи»*, 24-25 квітня 2007р., м.Київ, ІНФ, НТУУ «КПІ», 2007. - С. 277-278.

9. Костів Б.В. Проблема визначення положення підземного трубопроводу в процесі діагностики стану його ізоляційного покриття, покриття / Б.В.Костів, І.С. Кісіль // *Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції «Приладобудування: стан і перспективи»*, 22-23 квітня 2008р., м.Київ, ІНФ, НТУУ «КПІ», 2008. - С. 221-222.

10. Костів Б.В. Використання профілю напруженості магнітного поля над підземними металевими трубопроводами для підвищення точності результатів контролю стану ізоляційного покриття / Б.В. Костів, І.С. Кісіль // *Збірник тез доповідей VIII міжнародної науково-практичної конференції «Приладобудування: стан і перспективи»*, 28-29 квітня 2009р., м.Київ, ІНФ, НТУУ «КПІ», 2009. - С. 195-196.

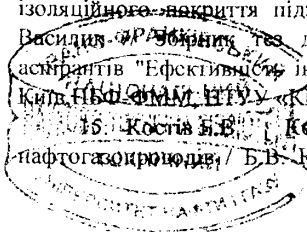
11. Костів Б.В. Пристрій для контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів / Б.В. Костів, І.С. Кісіль // *Матеріали 14-ої міжнародної науково-технічної конференції "Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів"*, 16-21 лютого 2009р., м.Славське, 2009. - С. 61-62

12. Костів Б.В. Підвищення точності контролю ізоляційного покриття підземних трубопроводів / Б.В. Костів, І.С. Кісіль // *Збірник доповідей 6-ї Національної технічної конференції «Неруйнівний контроль та технічна діагностика – UkrNDT-2009»*, 9-12 червня 2009р., м. Київ, УТ НКТД, 2009. - С. 316-318.

13. Костів Б.В. Застосування штучних нейронних мереж для обробки результатів безконтактного контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів / Б.В. Костів // *Збірник матеріалів доповідей XXI відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України «КМН-2009»*, М.Львів; ФМІ ім. Г.В. Карпенка, 2009р. - С 300-303.

14. Галіпчак В.В. Використання штучних нейронних мереж при діагностиці стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів / В.В. Галіпчак, Б.В. Костів, С.М. Василідис // *Збірник тез доповідей V Науково-технічної конференції студентів та аспірантів "Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні"*, 1 грудня 2009р, м. Київ, ІНФ, ФМІ, НТУУ «КПІ», С. 17.

15. Костів Б.В. Контроль стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів / Б.В. Костів, І.С. Кісіль // *Збірник тез доповідей п'ятої науково-*



технічної конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтопромислового обладнання», 2-5 грудня 2008р., м. Івано-Франківськ, С.120-122.

АНОТАЦІЯ

Костів Б. В. Удосконалення безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів для контролю їх ізоляційного покриття. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 — прилади і методи контролю та визначення складу речовин. — Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ.— 2010.

У дисертації розроблено спосіб безконтактного визначення струму в стінках одного підземного трубопроводу на основі однократного вимірювання напруженостей п'ятьма магнітними антенами, що знаходяться в двох блоках, без посередньої орієнтації бази вимірювальної системи в перпендикулярній до осі трубопроводу площині. Розроблено спосіб автоматичного профілювання горизонтальної складової напруженості магнітного поля при проходженні із вимірювальною системою над трубопроводами в перпендикулярному відносно їх осей напрямку. Запропоновано використання трьохшарової нейронної мережі для безконтактного визначення струму в стінках одного і двох підземних трубопроводів на основі даних профілю напруженостей магнітного поля над цими трубопроводами. Розроблено спосіб, в якому передбачено використання умовних рівнянь і отримання на їх базі нормальних рівнянь для безконтактного визначення струмів в стінках підземних трубопроводів при перпендикулярному проходженні над ними. Запропоновано структурну схему і виготовлено систему для безконтактного визначення струму в стінках підземних трубопроводів, яка реалізує всі запропоновані способи визначення цих струмів. Виконано метрологічний аналіз розробленої системи безконтактного визначення струмів в підземних трубопроводах, розроблена установка, яка дає змогу проводити експериментальні дослідження метрологічних характеристик розробленої системи безконтактного визначення струмів в підземних трубопроводах, а також подібних їй приладів і систем. Визначено метрологічні показники розробленої системи при безконтактному визначенні струмів у стінках контрольованих трубопроводів. Проведені лабораторні, польові і промислові випробування розробленої системи, які підтвердили її працездатність і можливість використання для контролю ізоляційного покриття підземних трубопроводів на основі зникання струму вздовж траси.

Ключові слова: підземний трубопровід, ізоляція, вимірювання, струм, напруженість магнітного поля, похибка, випробування, нейронна мережа, спосіб, умовні рівняння, нормальні рівняння.

АННОТАЦИЯ

Костив Б. В. Усовершенствование бесконтактного определения токов в стенках подземных трубопроводов для контроля их изоляционного покрытия. — Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук за

специальностью 05.11.13 — приборы и методы контроля и определения состава веществ.— Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск.— 2010.

В диссертации разработан способ бесконтактного определения тока в стенках одного подземного трубопровода на основе однократного измерения напряженности магнитного поля пятью магнитными антеннами, которые находятся в двух блоках, без предварительной ориентации базы измерительной системы в перпендикулярной к оси трубопровода плоскости. Получена аналитическая зависимость, которая позволяет рассчитывать ток в стенках контролируемого трубопровода на основании измерения напряженностей магнитного поля с помощью этих пяти магнитных антенн.

Разработан способ автоматического получения значений точек дискретизованого с заданным шагом профиля горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля при прохождении с измерительной системой над трубопроводами в перпендикулярном относительно их осей направлении.

Предложено использование трехслойной нейронной сети для контроля изоляции одного и двух подземных трубопроводов за измеренным профилем горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля над этими трубопроводами. Описана структура каждого из трех слоев нейронной сети, количество нейронов в ней, а также необходимое количество входных данных для ее тренировки и работы.

Кроме этого, предложено способ использования условных уравнений и получения на их базе нормальных уравнений для бесконтактного определения токов в стенках подземных трубопроводах при перпендикулярном прохождении над ними. Такой способ позволяет повысить точность определения токов в стенках трубопроводов в результате избыточности количества измеренных значений горизонтальной составляющей магнитного поля над трубопроводами.

Предложена структурная схема системы для бесконтактного определения тока в стенках подземных трубопроводов, которая реализует все предложенные способы определения этих токов. Разработанная система состоит из генератора сигналов с частотой 868 Гц и приемника для обработки измеренной информации с использованием в нем карманного персонального компьютера. В электрических принципиальных схемах системы использованы различные конструктивные усовершенствования с целью недопущения влияния промышленных помех на полученные результаты при определении значений токов в стенках контролируемых подземных трубопроводов.

Выполнен метрологический анализ разработанной системы бесконтактного определения токов в подземных трубопроводах, разработана установка, на которой можно проводить экспериментальные исследования метрологических характеристик разработанной системы бесконтактного определения токов в подземных трубопроводах, а также подобных ей приборов и систем. Метрологический анализ выполнен путем дифференцирования аналитических выражений для определения токов различными способами с учетом абсолютных погрешностей аргументов.

Определены метрологические показатели разработанной системы при бесконтактном определении с ее помощью токов в стенках контролируемых трубопроводов. В результате определено, что для бесконтактного измерения тока в стенках одного трубопровода наилучшие метрологические характеристики можно получить путем использования методики условно-нормальных уравнений, для двух

трубопроводов — использование методики на базе нейронных сетей.

Проведены лабораторные, полевые и промышленные испытания разработанной системы, которые подтвердили ее работоспособность и возможность использования для контроля изоляционного покрытия подземных трубопроводов на основе бесконтактного изменения токов в их стенках с помощью разработанной системы.

Ключевые слова: подземный трубопровод, изоляция, измерение, ток, напряженность магнитного поля, погрешность, испытание, нейронная сеть, способ, условные уравнение, нормальные уравнения.

ANNOTATION

Kostiv B. V. Improving the contactless determination of currents in the walls of underground pipelines to control their coating. — A Manuscript.

The thesis for technical sciences candidate's degree in speciality 05.11.13 – devices and methods of control and determination of composition substances. – Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk. – 2010.

The method of contactless determination of a current in the walls of the underground pipeline on the basis of single measurements of magnetic intensity with five antennas, located in two blocks, without the prior orientation of the base measurement system is normal to the pipe axis plane. A way to automatically retrieve values from a given point step profile horizontal intensity of the magnetic field while passing over a measuring system pipelines in relation to their axes perpendicular direction. The using of the three-stratified neuron network is offered for control of isolation one and two underground pipelines at measuring of profile of tensions of the magnetic field above these pipelines in perpendicular transition through them. Offered method of the using of conditional equations and receipt on their base of normal equations for noncontact determination of currents in underground pipelines at the perpendicular passing above them is grounded. The flow diagram of the system is offered for noncontact determination of current in the walls of underground pipelines, which will realize all offered methods of determination of these currents. Considerable attention is spared the metrology analysis of the developed system of noncontact determination of currents in underground pipelines. The setting which allows to conduct experimental researches of metrology descriptions of the developed system of noncontact determination of currents in underground pipelines, and also similar to it devices and systems is developed. The concrete metrology indexes of the developed system are certain at noncontact determination for its help of currents in the walls of the controlled pipelines. The laboratory, field and industrial tests of the developed system are conducted, which confirmed its capacity and possibility of the using for control of isolating coverage of underground pipelines on the basis of change of current in their walls.

Keywords: underground pipeline, insulation, measuring, current, tension of the magnetic field, test, neuron network, algorithm, conditional equations, normal equations.