

620.179.14  
4575

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**ЦИХ ВІТАЛІЙ СЕРГІЙОВИЧ**

УДК 621.64

620.179.14+622.692.4.  
076:620.197(043)

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ТА ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТІВ  
ІЗОЛЯЦІЇ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю  
та визначення складу речовин

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі „Технічної діагностики та моніторингу” в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Яворський Андрій Вікторович**  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, доцент кафедри „Технічної діагностики та моніторингу”

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**Джала Роман Михайлович**  
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, завідувач відділу фізичних методів контролю протикорозійного захисту, м. Львів

кандидат технічних наук  
**Мухлинін Сергій Михайлович**  
Товариство з обмеженою відповідальністю „ІСІДА-IFV”, програміст, м. Київ

Захист відбудеться “03” липня 2014 р. о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15)

Автореферат розісланий “30” *травня* 2014 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, професор



Дранчук М.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність теми.

На даний час у суцасному нафтогазовому комплексі транспортування нафти, газу та нафтопродуктів здійснюється за допомогою складної розгалуженої системи трубопроводів. Значна частина таких мереж працює понад свій нормативний термін експлуатації. За таких умов проведення своєчасного та достовірного технічного діагностування трубопроводів є штатною технологічною операцією. У нафтогазовій галузі використовується значна кількість методів і засобів контролю технічного стану підземних трубопроводів. Однією з основних складових даного діагностування є контроль стану ізоляційного покриття підземних нафто-, чи газопроводів, оскільки саме пошкодження ізоляції є однією з першопричин розвитку корозійних процесів металу таких трубопровідних мереж. Особливо ускладненим є діагностування об'язок трубопроводів в умовах складних технологічних об'єктів нафтогазового комплексу – газокompресорних, нафтоперекачувальних станцій, для яких є характерною значна кількість суміжних комунікацій та сторонніх заводів.

Контроль ізоляційного покриття передбачає виявлення всіх наявних на ньому дефектів із ранжуванням їх за ступенем небезпеки. Проте таке ранжування є неможливим без чіткої ідентифікації виду дефекту, оскільки для кожного з них (наскрізний дефект або відшарування ізоляційного покриття) характерний різний ступінь загрози безпечній експлуатації підземних трубопроводів. Необхідно зазначити, що на даний час виявлення відшарувань ізоляції з поверхні землі за допомогою існуючих методів контролю стримується відсутністю інформації про параметри таких дефектів, що пов'язано з відсутністю чіткого контакту металу труби з ґрунтом у місці відшарування.

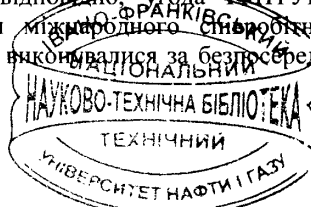
Тому актуальність дисертаційної роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності існуючих методів контролю технічного стану підземних трубопроводів з метою виявлення та ідентифікації дефектів їх ізоляційного покриття з поверхні землі.

### Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася в рамках науково-дослідної роботи Д-15-11-П «Управління ризиками безпечної експлуатації протяжних потенційно небезпечних інженерних споруд за наявності геодинамічних впливів» (№ держреєстрації 0111U001361, угода ІФНТУНГ із МОНмолодьспорту України), науково-дослідної роботи Д-1-13-Ф «Розроблення наукових основ багатопараметрового контролю технічного стану металоконструкцій довготривалої експлуатації за фактичними значеннями фізико-механічних характеристик їх матеріалу та типом і розмірами дефектів» (№ держреєстрації 0113U001099, угода ІФНТУНГ із МОНмолодьспорту України), а також науково-дослідних робіт М420-2011 та М295-2012 «Розроблення нової технології управління ризиками геодинамічних впливів на безпечну експлуатацію трубопровідних систем» (№ держреєстрації 0111U007396 та 0112U007396 відповідно, угода ІФНТУНГ із Держінформнауки України в рамках програми міжнародного співробітництва з Францією). Ці роботи виконувалися за безпосередньою допомогою окремих розділів.



an2448



**Мета роботи** полягає у вирішенні важливого науково-прикладного завдання в галузі приладів і методів неруйнівного контролю – розробленні методу та засобу контролю ізоляційного покриття підземних трубопроводів для виявлення та ідентифікації типу дефекту ізоляції.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні наукові **завдання:**

- проаналізувати сучасний стан та тенденції розвитку існуючих методів і технічних засобів для контролю дефектів ізоляційного покриття підземних трубопроводів;
- провести теоретичні дослідження з метою встановлення інформативних параметрів для контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів із можливістю виявлення дефектів ізоляції типу відшарування;
- розробити експериментальний взірець інформаційно-виміральної системи та виконати експериментальні дослідження взаємозв'язку між запропонованими інформативними параметрами та станом ізоляційного покриття з метою оцінки їх достовірності;
- розробити комплексний метод для виявлення та ідентифікації типу дефекту ізоляційного покриття підземних трубопроводів;
- розробити, виготовити та провести промислово апробацію інформаційно-виміральної системи і технології контролю технічного стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів.

**Об'єкт дослідження** – процес зміни технічного стану ізоляційного покриття підземного трубопроводу.

**Предмет дослідження** – методи та засоби неруйнівного контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів.

**Методи дослідження.** У дисертаційній роботі для вирішення поставлених завдань використовувалися методи теорії електромагнітних кіл з розподіленими параметрами з метою розроблення комплексного методу виявлення та ідентифікації дефектів підземних трубопроводів, методи математичного моделювання для встановлення взаємозв'язків між вибраними основними інформативними параметрами та видами дефектів ізоляції, методи фізичного моделювання різних видів дефектів ізоляційного покриття на експериментальній ділянці підземного трубопроводу з метою оцінки впливу їх геометричних та електричних параметрів на інформативний сигнал, методи конструювання та схемотехніки для розроблення експериментального взірця інформаційно-виміральної системи, а також методи статистичного опрацювання експериментальних результатів.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

І Вперше отримано залежність зсуву фази електромагнітного сигналу, який створюється підключеним генератором електричних коливань та поширюється вздовж підземного трубопроводу, від параметрів відшарування ізоляційного покриття шляхом аналізу еквівалентних схем ділянки підземного трубопроводу з дефектом ізоляції, що дало змогу розширити застосування електромагнітного фазового методу контролю.

2. Удосконалено метод виявлення дефектів ізоляції підземних трубопроводів шляхом введення параметра ідентифікації, що дає можливість розрізнити локальні дефекти за видом: наскрізні чи відшарування.

3. Набув подальшого розвитку електромагнітний амплітудний метод контролю шляхом експериментального підтвердження ефекту витікання струму, що спричинює характерні зміни вимірів струму в околі наскрізного пошкодження ізоляційного покриття підземного трубопроводу.

#### **Положення, що виносяться на захист:**

1. Метод виявлення дефектів ізоляційного покриття підземних трубопроводів типу відшарування на основі використання електромагнітного фазового методу контролю.

2. Залежність характеру зміни інформативних параметрів (значення струму та питомий зсув фази) від типу дефекту ізоляції підземних трубопроводів: відшарування чи наскрізне пошкодження.

#### **Практичне значення одержаних результатів** полягає в наступному:

1. Розроблено методику, яка дає можливість виявляти та ідентифікувати дефекти ізоляційного покриття підземних трубопроводів.

2. Розроблено методику проведення контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів, яка включає комплексне використання двох електромагнітних (амплітудного і фазового) методів контролю.

3. Розроблено та виготовлено експериментальний взірець інформаційно-вимірювальної системи для контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів, який дає можливість реалізувати спосіб вимірювання значень амплітуди та зсуву фази сигналу змінного струму, що протікає в стінках досліджуваного трубопроводу.

4. Проведено промислову апробацію розробленої методики контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів на території АГНКС ПАТ «Концерн Галнафтогаз» (акт промислової апробації від 30.05.13р.).

5. Проведено промислові випробування розробленого експериментального взірця інформаційно-вимірювальної системи для контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів на території лінійної виробничо-диспетчерської станції «Броди» філії «Магістральні нафтопроводи «Дружба» ПАТ «Укртранснафта» (акт промислової апробації від 13.09.13р.), що дало змогу встановити першочерговість проведення ремонтних робіт.

6. Результати дисертаційного дослідження (методика контролю та експериментальний взірець інформаційно-вимірювальної системи для контролю стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів) впроваджено для використання фахівцями НВФ «Зонд» у процесі проведення робіт з експертного обстеження технічного стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів (акт впровадження від 11.11.13р.).

7. Результати дисертаційного дослідження впроваджено в навчальний процес на кафедрі «Технічної діагностики та моніторингу», ІФНТУНГ (акт впровадження від 30.01.14р.).

### **Особистий внесок здобувача.**

Основні теоретичні, розрахункові та експериментальні результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: [1, 12] – аналіз відомих методів для контролю технічного стану підземних трубопроводів; [2, 11, 14, 15] – аналіз та теоретичне обґрунтування проблем контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів в умовах нафтоперекачувальних станцій; [3, 13, 16, 18] – теоретичні дослідження електромагнітного фазового методу контролю з метою його застосування для виявлення дефектів ізоляційного покриття типу відшарування; [7, 8, 9, 17, 21, 22] – удосконалений підхід до ідентифікації дефектів ізоляційного покриття підземних трубопроводів із використанням комплексу інформативних параметрів; [10] – розроблення підходу та теоретичне обґрунтування способу контролю стану ізоляційного покриття шляхом аналізу основних електричних параметрів підземного ізольованого нафтогазопроводу.

### **Апробація результатів дисертації.**

Основні положення та результати дисертаційних досліджень доповідалися та обговорювалися на наступних конференціях: Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика – 2011» (м. Івано-Франківськ, 2011р.); Першій Міжнародній науково-технічній конференції пам'яті професора Володимира Поджаренка «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (м. Вінниця, 2011р.); VII Міжнародній науково-технічній конференції «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта» (м. Новополюськ, Білорусь, 2011р.); Третій науково-практичній конференції студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (м. Івано-Франківськ, 2011р.); 17-ій Міжнародній науково-технічній конференції «Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів ЛЕОТЕСТ-2012» (м. Славське, 2012р.); XI Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи» (Київ, 2012р.); XXVII Міжнародній конференції «Дни неразрушающего контроля, 2012» (м. Созополь, Болгарія, 2012р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу» (м. Івано-Франківськ, 2012р.); 7-ій Національній науково-технічній конференції і виставці «Неруйнівний контроль та технічна діагностика» (м. Київ, 2012р.); XII Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи» (Київ, 2013р.); XXVII Міжнародній конференції «Дни неразрушающего контроля, 2013» (м. Созополь, Болгарія, 2013р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика 2013» (м. Івано-Франківськ, 2013); III Міжнародній науково-технічній конференції «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування» (м. Тернопіль, 2013); Другій Міжнародній науково-технічній конференції пам'яті професора Володимира Поджаренка «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (м. Вінниця, 2013р.); 4-ій науково-практичній конференції студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (м. Івано-Франківськ, 2013р.) та на семінарах кафедр «Технічної діагностики та моніторингу» і «Методи та прилади

контролю якості і сертифікації продукції» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) у 2011-2013 р.р.

### **Публікації.**

За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 22 наукові роботи, з яких 9 – статті у фахових виданнях, серед них 5 статей у фахових виданнях, затверджених ДАК МОН України (у тому числі 1 одноосібна), 2 статті у іноземних виданнях, 1 стаття в іноземному електронному виданні (одноосібна), 1 стаття у реферованому фаховому виданні України (одноосібна); 12 тез матеріалів доповідей на науково-технічних конференціях (у тому числі 2 одноосібних), 1 патент України на корисну модель.

### **Структура та об'єм роботи.**

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Дисертація викладена на 155 сторінках. Окрім того робота проілюстрована 64 рисунками, включає 7 таблиць, список використаних джерел із 130 найменувань і 8 додатків.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** наведено загальну характеристику дисертаційної роботи. Розкрито суть і стан науково-технічної проблеми контролю технічного стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів у складних умовах. Обґрунтовано актуальність теми, що дало можливість сформулювати мету та основні завдання досліджень. Розкрито наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про особистий внесок здобувача щодо апробації положень дисертаційної роботи.

У **першому розділі** наведено основні характеристики підземних ізольованих трубопроводів, умови їх експлуатації, а також виділено види дефектів, які можуть при цьому виникати. Основними об'єктами контролю є підземні трубопроводи, що знаходяться на території складних технологічних об'єктів нафтогазового комплексу, до яких відносимо підземні трубопроводи автомобільних газонаповнювальних, компресорних, газорозподільних, газовимірювальних та нафтоперекачувальних станцій. Особливу увагу приділено дефектам ізоляційного покриття типу відшарування ізоляції.

На основі аналізу літературних джерел проведено аналіз відомих методів і засобів контролю технічного стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів. Наведено переваги та недоліки кожного із розглянутих методів контролю та обмеження щодо їх застосування. Основна увага приділена методам і засобам, робота яких базується на безконтактному вимірюванні величини струму в стінках досліджуваного підземного трубопроводу.

Дослідженню технічного стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів присвячено низку робіт вітчизняних і закордонних вчених, таких як Джала Р.М., Дикмарова Л.П., Сидоров Б.В., Кісіль І.С., Стрілецький Ю.Й., Яворський А.В., Вербенець Б.Я., Костів Б.В., Мухлінін С.М., Ткаленко М.А., Тевяшев А.Д., Конев К.А., Мартинов С.А., Garnett E.F., Mark S. Olsson, Paul G. Stuart, Richard Norsworthy та інші. Здебільшого, їх увага зосереджувалася на підвищенні

достовірності та точності контролю технічного стану ізоляційного покриття, пов'язана із виявленням наскрізних дефектів ізоляції. Проте можливість чіткої ідентифікації наскрізних дефектів та виявлення відшарувань ізоляційного покриття в даних роботах не розглядалися.

Вивченню питань щодо виявлення та ідентифікації дефектів ізоляції типу відшарування до останнього часу приділялося досить мало уваги. У зв'язку із цим дослідження з даної проблеми в науково-технічній літературі є малочисельними.

У роботах таких вчених як Allahar K.N., Трейсі С.Д., Келлнер Дж. Д., Розенфельд І.Л., Шамшетдінова Н.К. та ін. висвітлюються питання, пов'язані з відшаруванням ізоляційного покриття. Але основна увага в них зосереджена на оцінках розвитку корозійних процесів під відшарованим покриттям, а також впливу електрохімічного захисту на зниження швидкості таких корозійних процесів, тоді як питання виявлення таких дефектів ізоляції підземних трубопроводів з поверхні землі в процесі їх експлуатації не знайшло вирішення.

Проведений аналіз існуючих методів контролю показав, що на даний час не існує єдиного універсального методу чи підходу, який би дав можливість виявляти та ідентифікувати всі можливі дефекти ізоляційного покриття підземних трубопроводів, які перебувають в експлуатації. Окрім того, аналіз існуючої нормативної документації показав, що наявні в Україні документи регламентують застосування тільки контактних методів контролю ізоляційного покриття підземних трубопроводів.

Доведено та обгрунтовано необхідність розроблення нового підходу до контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів з поверхні землі, який би включав удосконалення та розвиток існуючих методів і методик. До найбільш перспективних методів контролю ізоляції віднесено електромагнітні амплітудний та фазовий методи. Відповідно до одержаних результатів проведеного аналізу обрано основні інформативні параметри, які відповідатимуть за стан ізоляційного покриття підземних трубопроводів, – значення змін струму в стінках досліджуваного трубопроводу та питомий зсув фази такого сигналу відносно опорного.

На підставі вище наведеного сформульовано основні завдання, які потребують вирішення, та обрано напрямки подальших досліджень.

**Другий розділ** присвячено теоретичному обгрунтуванню застосування електромагнітного фазового методу для контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів. Фізична суть такого методу базується на визначенні координат місць наскрізних дефектів, які характеризуються наявністю еквівалентного опору відносно землі, а також локалізації місць відшарувань ізоляції, які характеризуються наявністю додаткової ємності дефекту, що спричинює значний питомий зсув фази вимірюваного сигналу.

Враховуючи, що підземний трубопровід можна розглядати як однорідну систему з розподіленими параметрами у випадку протікання по ньому змінного струму, то ділянку такого трубопроводу можна представити у вигляді еквівалентної електричної схеми заміщення.

Основне завдання полягало в урахуванні в такій схемі випадку наявності дефекту типу відшарування ізоляційного покриття. Відшарування ізоляції може



описуватися додатковою смістю дефекту, яка фізично утворюється між металом трубопроводу та відшарованим покриттям. Розглянуто два варіанти відшарування ізоляційного покриття: «чисте» відшарування та відшарування з електролітичним шаром. Відповідно, матимемо послідовне з'єднання перехідних реактивних параметрів підземного трубопроводу: смістості ізоляції, смістості відшарування та смістості подвійного електричного шару на границі метал-електроліт (у випадку наявності електроліту під відшарованим покриттям).

З метою оцінювання впливу електричних параметрів на інформативний параметр зсуву фази побудовано, як допоміжну, еквівалентну електричну схему моделі труби з відшарованим ізоляційним покриттям для змінного струму. У цій моделі, на відміну від відомих, додатково враховуємо опір розтіканню струму з трубопроводу  $R_0$  та смість відшарування ізоляції  $C_D$ .

Проведені теоретичні дослідження та розрахунок електричних елементів такої схеми заміщення дали можливість одержати аналітичну модель залежності зсуву фази у випадку наявності відшарування ізоляційного покриття досліджуваного підземного трубопроводу:

$$\varphi = 2\pi f \sqrt{\frac{R_c L_p C_c C_D}{(Z_i + R_0 + R_c)(C_c + C_D)}} \quad (1)$$

де  $Z_i$  – вхідний опір генератора, який задається його технічними характеристиками, Ом;  $R_0$  – опір розтіканню струмів у ґрунт з досліджуваного трубопроводу, Ом/м;  $R_c$  – погонний опір ізоляційного покриття, Ом/м;  $R_c$  – погонний опір ізоляційного покриття, Ом/м;  $L_p$  – погонна індуктивність трубопроводу, Гн/м;  $C_c$  – смість ізоляційного покриття, Ф;  $C_D$  – смість дефекту відшарування ізоляції, Ф;  $f$  – робоча частота, Гц;  $\varphi$  – зсув фази вихідного сигналу відносно вхідного, рад.

У даній залежності (1) знехтувано активним опором металу труби як складовою загального опору досліджуваного трубопроводу. Ємність відшарування ізоляції описуватиметься залежно від геометричних параметрів та форми такого дефекту (протяжність, розміщення по периметру труби).

На рис. 1 зображено графіки залежності зсуву фази вимірюваного сигналу за різних параметрів відшарування ізоляційного покриття та використанні робочої частоти 33 кГц, одержані на основі залежності (1).

Далі оцінено індуктивні параметри ґрунтового середовища, в якому розміщується досліджуваний трубопровід (з метою врахування впливу різного роду ґрунтів на інформативний сигнал). Для цього в еквівалентну електричну схему введено індуктивні параметри ґрунту, а саме: індуктивність ґрунту  $L_{S1}$ , як провідника, який оточує трубопровід, та зовнішню індуктивність  $L_{S2}$ , як електричний параметр коаксіальної лінії, утвореної між трубопроводом та оточуючим ґрунтом. З урахуванням даних параметрів, основна залежність (1) набуде вигляду:

$$\varphi = 2\pi f \sqrt{\frac{R_c (L_p + L_{S1} + L_{S2}) C_c C_D}{(Z_i + R_0 + R_c)(C_c + C_D)}} \quad (2)$$

де  $L_{S1}$  – внутрішня індуктивність ґрунту як провідника, який оточує досліджуваний трубопровід, Гн/м;  $L_{S2}$  – зовнішня індуктивність трубопроводу, Гн/м.

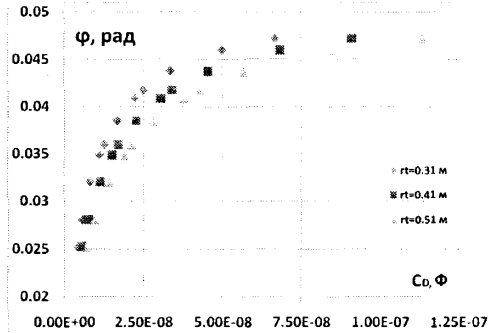


Рис. 1. Теоретичні результати зміни зсуву фази вимірюваного сигналу для трубопроводів діаметрами 620, 820 та 1020 мм за умови використання робочої частоти 33 кГц та різної величині ємності відшарування ізоляції

На основі рівності (2) побудовано графіки залежності зсуву фази вимірюваного сигналу на різних робочих частотах від різних типів ґрунтів та за різних величин відшарування ізоляційного покриття (рис. 2 та рис. 3).

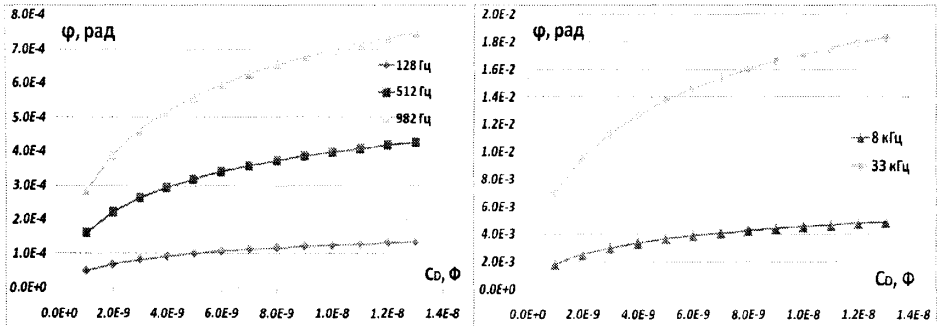


Рис. 2. Залежності зміни зсуву фази  $\varphi$  від ємності відшарування ізоляційного покриття  $\epsilon_0$  за умови використання різних робочих частот (тип ґрунту – суглинок)

Наведена залежність зсуву фази вимірюваного сигналу з урахуванням параметрів оточуючого ґрунту у випадку наявності наскрізного пошкодження ізоляції:

$$\varphi = 2\pi f \frac{R_N C_N (L_P + L_{S1} + L_{S2})}{Z_i + R_P + R_S + R_E + R_N} \quad (3)$$

де  $R_N$ ,  $C_N$  – відповідно, поляризаційний опір та поляризаційна ємність подвійного електричного шару на границі метал-електроліт;  $R_E$  – активний опір ґрунтового

електроліту в наскрізному дефекті ізоляційного покриття (описується через провідність у місці наявного наскрізного дефекту ізоляції).

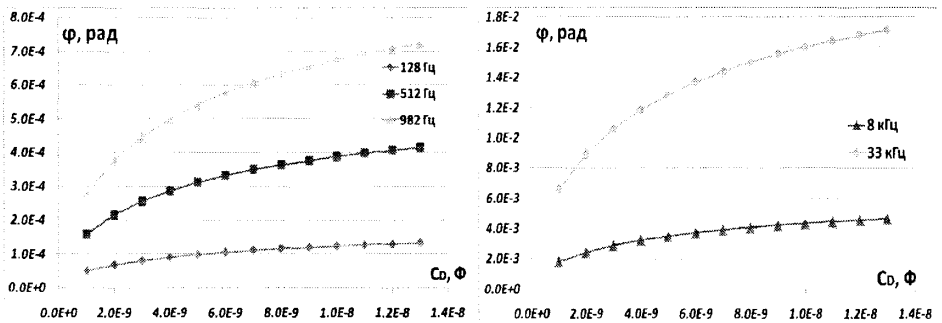


Рис. 3. Залежності зміни зсуву фази  $\varphi$  від ємності відшарування ізоляційного покриття  $C_d$  за умови використання різних робочих частот (тип ґрунту – пісок)

З метою реалізації електромагнітного фазового методу запропоновано удосконалену схему контролю технічного стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів, які знаходяться на території технологічних об'єктів нафтогазового комплексу.

Суть удосконалення полягає в наступному. Мультичастотний генератор через контрольно-вимірювальну колонку підключається до досліджуваного підземного трубопроводу і до заземлювача. Мультичастотним генератором змінного струму створюється контрольний сигнал, який змінюється під час протікання вздовж трубопроводу. Такі зміни проявляються у вигляді затримки розповсюдження сигналу, що залежать від електричних параметрів розміщеного в ґрунті підземного трубопроводу. Вимірювання сигналу відбувається в точках зі сталим кроком за допомогою переносного вимірювального пристрою під час руху оператора вздовж осі досліджуваної комунікації. Під час проходження місць наскрізних дефектів ізоляційного покриття або місць відшарувань ізоляції відбувається значна зміна зсуву фази. Реєстрація одержаного переносним вимірювальним пристроєм сигналу відбувається за допомогою двоканального цифрового осцилографа, на один з входів якого подається опрацьований сигнал з досліджуваного підземного трубопроводу, а на інший – опорний сигнал з мультичастотного генератора з метою порівняння. У місцях значного питомого зсуву фази найбільш імовірно знаходження дефектів ізоляційного покриття.

Проведені теоретичні дослідження підтвердили доцільність використання електромагнітного фазового методу контролю для виявлення дефектів ізоляційного покриття підземних трубопроводів шляхом встановлення взаємозв'язку між зміною зсуву фази вимірюваного сигналу та параметрами ізоляційного покриття підземних трубопроводів.

У третьому розділі наведено методику та результати досліджень основних інформативних параметрів, які характеризують стан ізоляційного покриття

підземних трубопроводів, проведених на спеціальному навчально-науковому полігоні для технічної діагностики підземних комунікацій.

Для проведення досліджень стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів було обрано спеціальний навчально-науковий полігон, який знаходиться на території навчально-наукового центру «Енергоефективні технології в системах видобування, транспортування та зберігання нафти і газу», ІФНТУНГ. Для даного полігону розроблено схему і змонтовано експериментальну ділянку підземного трубопроводу з різними видами дефектів ізоляційного покриття. Ділянка досліджуваного трубопроводу діаметром 57 мм є прямолінійною, довжиною 20 м. Ізоляція трубопроводу – бітумна, товщиною 9 мм.

З метою відтворення основних видів дефектів ізоляції, що можуть виникати під час експлуатації підземних трубопроводів, створено наступні штучні дефекти ізоляційного покриття: наскрізні (рис. 4) та відшарування ізоляції (рис. 5).

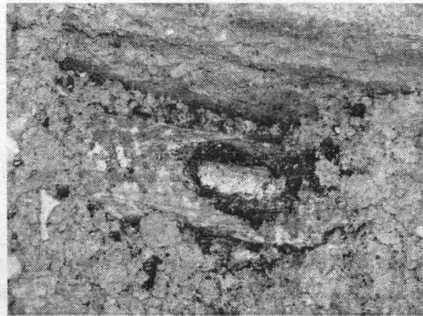
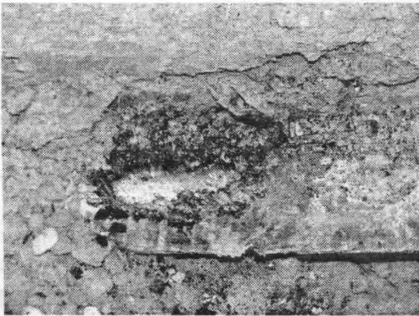


Рис. 4. Вигляд створених наскрізних дефектів ізоляційного покриття

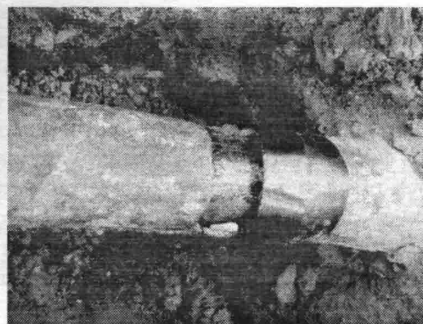
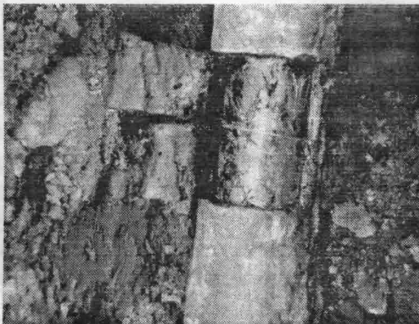
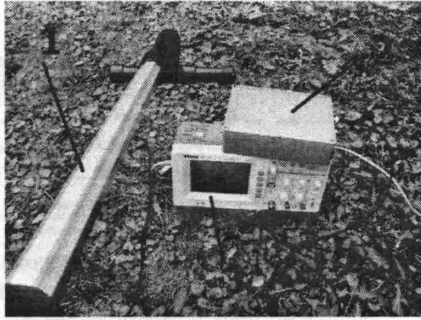


Рис. 5. Вигляд створених відшарувань ізоляційного покриття

З метою перевірки запропонованого методу контролю стану ізоляційного покриття розроблено експериментальний взірець інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), в якому реалізовано можливості використання двох електромагнітних методів контролю – амплітудного та фазового.

ІВС складається з двох основних блоків – магнітної антени для прийому сигналу від трубопроводу та під'єданого до неї вимірювального блока. Крім того, для реєстрації і відображення вимірювального сигналу застосовується двоканальний цифровий осцилограф (рис. 6). Для задавання сигналу на досліджуваний трубопровід використовується мультисигнальний генератор змінного струму.



*1 – магнітна антена; 2 – вимірювальний блок; 3 – цифровий двоканальний осцилограф*

Рис. 6. Загальний вигляд розробленого експериментального взірця ІВС із цифровим осцилографом для реєстрації інформативного сигналу

На навчально-науковому полігоні проведено експериментальні дослідження згідно із запропонованим підходом, який включає наступні кроки:

- проведення експериментів з використанням електромагнітного фазового методу контролю (визначення питомого зсуву фази між точками контролю);
- вимірювання значень струму за допомогою електромагнітного амплітудного методу контролю з використанням сталого кроку між точками вимірювань;
- зменшення кроку між точками вимірювань у місцях значної питомої зміни значень струмового сигналу в стінках досліджуваного трубопроводу (за необхідності);
- зіставлення результатів контролю для аналізу зміни основних інформативних параметрів з метою одержання ідентифікаційних ознак того чи іншого дефекту ізоляційного покриття.

У процесі роботи проведено експериментальні дослідження за описаними теоретичними моделями на різних частотах. Найбільш оптимальною обрано частота 33 кГц. Вибір частоти пов'язаний насамперед із незначною довжиною досліджуваної ділянки підземного трубопроводу та з необхідністю збільшення чутливості магнітної антени. Одержані результати зображено на рис. 7.

Як показали одержані результати – фазовий метод контролю є чутливим як до наскрізних дефектів, так і до відшарувань ізоляційного покриття, що проявляється у фіксації значного зсуву фази сигналу в місцях наявності таких дефектів. Дані результати підтверджують одержані раніше теоретичні дослідження. Проте чітко сказати про тип дефекту з використанням єдиного інформативного параметра неможливо. Отримані графіки щодо результатів електромагнітного амплітудного

методу контролю дають можливість підтвердити твердження щодо нечутливості даного методу до дефектів ізоляції типу відшарування.

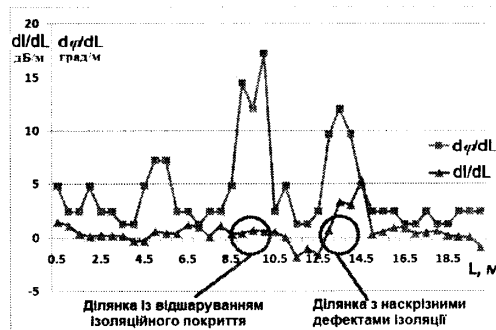


Рис. 7. Зіставлені результати вимірювань питомих змін значень струму та зсуву фази на ділянці підземного трубопроводу з різними дефектами ізоляції, розміщеному на навчально-науковому полігоні

Детальний аналіз результатів вимірювань дав змогу експериментально підтвердити теоретично описаний у працях Р.М. Джали ефект витікання струму, що спричинює характерні зміни вимірів струму в околі наскрізного пошкодження ізоляційного покриття підземного трубопроводу. Такі характерні зміни сигналу (зростання значень струму) за амплітудного методу контролю пов'язані з наявністю струмів у ґрунті і, відповідно, із додаванням/відніманням струмів витікання та транзитного в місці наскрізного пошкодження ізоляційного покриття). Усереднені результати вимірювань значень струму вздовж досліджуваного трубопроводу зображено на рис. 8.

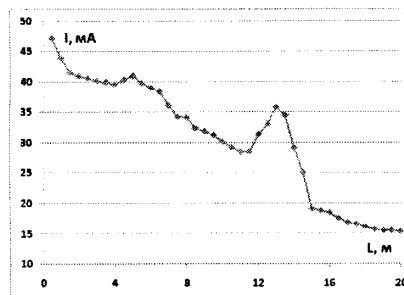


Рис. 8. Усереднені результати вимірювань значень струму (на частоті 33 кГц) вздовж ділянки досліджуваного підземного трубопроводу, розміщеному на навчально-науковому полігоні

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено аналітичну залежність зміни значень струму для ділянок з наскрізними пошкодженнями ізоляційного покриття, а також оцінено можливість ідентифікації таких дефектів

ізоляції на основі оцінювання критичних відхилень значень струму з урахуванням розподілу  $\chi^2$ -квадрат.

З метою ідентифікації типу дефекту ізоляції введено додатковий параметр  $K_S$ , який дає можливість підвищити чутливість виявлення ефектів питомої зміни значень інформативних параметрів:

$$K_S = \left( \frac{d\varphi}{dL} \right)^2 \cdot \left( \frac{dI}{dL} \right)^2. \quad (4)$$

На рис. 9 зображено залежність, розраховану для ділянки досліджуваного трубопроводу, розміщеному на навчально-науковому полігоні.

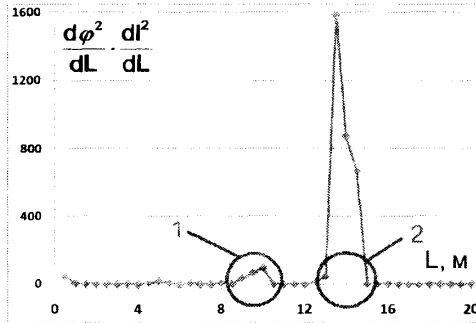


Рис. 9. Розрахункові результати зміни параметра ідентифікації  $K_S$  для досліджуваної ділянки підземного трубопроводу, розміщеного на території навчально-наукового полігону: 1 – зона відшарування ізоляції, 2 – ділянка з наскрізними пошкодженнями

Як бачимо на рис. 9, за допомогою введеного додаткового параметра  $K_S$  існує можливість ідентифікації виду дефекту. Умови ідентифікації наступні. За наявності на графіку ідентифікації змін величини параметра ідентифікації  $K_S$ , який у 8-12 разів перевищує середні відносні зміни по всій ділянці контролю, можна говорити про наявність відшарувань ізоляційного покриття, у випадку перевищення параметра ідентифікації середнього значення цього параметра на інших ділянках у 15 і більше разів можна стверджувати про наявність наскрізних дефектів ізоляції в даній ділянці контролю.

Проведені експериментальні дослідження дали можливість прослідкувати зміну основних інформативних параметрів у місцях наявності дефектів ізоляційного покриття різних видів – наскрізне пошкодження чи відшарування.

Необхідно зазначити, що на території навчально-наукового полігону глибина залягання підземного трубопроводу була відома згідно з апіорною інформацією. На території діючих об'єктів нафтогазового комплексу необхідно спочатку використовувати наявні відомі технічні засоби з метою оцінки глибини залягання досліджуваного трубопроводу.

У **четвертому розділі** на основі одержаних у попередніх розділах результатів розроблено комплексну методику контролю ізоляційного покриття із можливістю

виявлення та ідентифікації дефектів ізоляції, завдяки якій складений проект нормативного документа. Згідно з методикою на основі аналізу зміни двох інформативних параметрів контролю формується висновок щодо наявності чи відсутності дефектів ізоляційного покриття на досліджуваній ділянці підземного трубопроводу.

Також розділ присвячено метрологічному аналізу і промисловій апробації методики з використанням експериментального взірця інформаційно-вимірювальної системи для контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів.

Розраховано сумарну невизначеність контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів в умовах складних технологічних об'єктів нафтогазового комплексу, яка складає 12,37%. Вірогідність контролю, при заданому рівні довіри  $p=0,95$ , складає 75,26 %.

Наведено результати промислових випробувань розробленої методики контролю із використанням експериментального взірця ІВС з метою виявлення та ідентифікації дефектів ізоляційного покриття підземних трубопроводів. Промислову апробацію запропонованої методики проведено в умовах АГНКС, ПАТ «Концерн Галнафтогаз». Промислову апробацію розробленого експериментального взірця ІВС було виконано в умовах ЛВДС «Броди» філії «магістральні нафтопроводи «Дружба» ВАТ «Укртранснафта».

Отримані результати апробації показали, що запропонована методика з використанням експериментального взірця ІВС дає змогу виявляти та ідентифікувати дефекти ізоляційного покриття підземних трубопроводів. Проведене шурфування на вибраних ділянках з потенційно наявними дефектами ізоляції підтвердило отримані результати апробації (рис. 10).

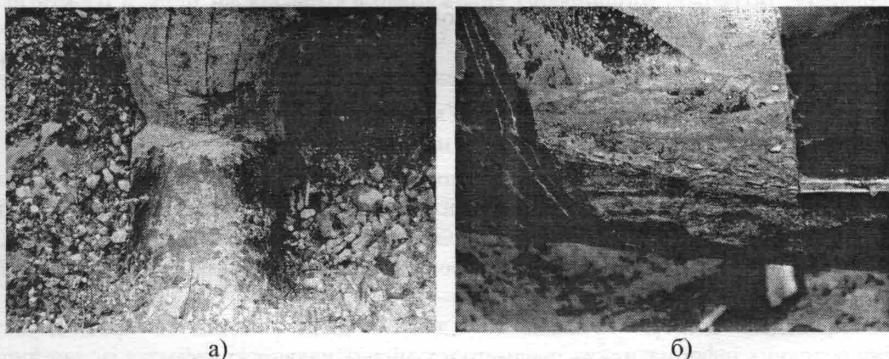


Рис. 10. Виявлені дефекти ізоляційного покриття підземних нафтопроводів, розміщених на території ЛВДС «Броди»: а) – наскрізне пошкодження; б) – відшарування ізоляції

У додатках наведено результати теоретичних розрахунків, методику виявлення дефектів ізоляційного покриття підземних трубопроводів, акти апробації запропонованої методики та інформаційно-вимірювальної системи, а також акти



впровадження результатів дисертаційних досліджень у виробництво та навчальний процес.

## ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливе науково-прикладне завдання – розроблено метод та засіб контролю технічного стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів із можливістю виявлення та ідентифікації дефектів ізоляції шляхом застосування двох інформативних параметрів контролю.

1. Проведений аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку відомих неруйнівних методів і засобів контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів показав, що на даний час не існує єдиного підходу, який давав би змогу точно виявляти та ідентифікувати усі дефекти ізоляції, особливо в умовах складних технологічних об'єктів нафтогазового комплексу. Окрім того, існуючі технології контролю не дають можливість виявляти дефекти типу відшарування ізоляції у зв'язку із особливістю їх параметрів і характеристик. Обґрунтовано необхідність розроблення нового підходу до контролю стану ізоляції підземних трубопроводів шляхом розвитку електромагнітних методів контролю та удосконалення підходу до ідентифікації дефектів ізоляційного покриття на основі застосування двох інформативних параметрів – амплітуди і фази струму в стінках досліджуваного трубопроводу.

2. Теоретично обґрунтовано використання електромагнітного фазового методу контролю для виявлення відшарувань ізоляційного покриття підземних трубопроводів шляхом встановлення взаємозв'язку між зміною зсуву фази вимірюваного сигналу та параметрами ізоляційного покриття підземних трубопроводів.

3. Розроблено схему і змонтовано експериментальну ділянку підземного трубопроводу з різними видами дефектів ізоляційного покриття (наскрізні та відшарування) на території навчально-наукового полігону для технічної діагностики підземних комунікацій з метою експериментального підтвердження одержаних теоретичних результатів. Розроблено методика проведення експериментальних досліджень та експериментальний взірець інформаційно-вимірювальної системи, що дало змогу провести вимірювання основних інформативних параметрів (значень струму в стінках трубопроводу та питомого зсуву фази), необхідних для виявлення та ідентифікації дефектів ізоляції (наскрізних та відшарувань). За результатами експериментальних досліджень одержано графіки залежностей значень струмового сигналу в стінках підземного трубопроводу із наскрізними дефектами ізоляції для ділянки незначної довжини, що дало можливість встановити критичні відхилення цих значень від апроксимаційних кривих для наскрізних дефектів ізоляційного покриття на основі оцінювання критичних значень точок розподілу  $\chi^2$ -квадрат.

4. Запропоновано комплексний метод виявлення та ідентифікації дефектів ізоляційного покриття за видами (наскрізні та відшарування ізоляції) на основі введення додаткового параметра, який описує зміну двох інформативних параметрів контролю – питомих змін значень амплітуди і фази вимірюваного сигналу.

5. Розроблено методику виявлення дефектів ізоляції підземних трубопроводів, на основі якої розроблено проект нормативного документа (СОУ). Проведено промислову апробацію методики виявлення дефектів ізоляції підземних трубопроводів із використанням експериментального взірця інформаційно-вимірювальної системи на наступних об'єктах: АГНКС, ПАТ «Концерн Галнафтогаз» та ЛВДС «Броди» філії «магістральні нафтопроводи «Дружба» ВАТ «Укртранснафта», що підтвердило можливість її застосування на діючих технологічних об'єктах нафтогазового комплексу.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Цих В.С. Проблеми безконтактного виявлення та ідентифікації дефектів підземних нафтогазопроводів з поверхні землі / В.С. Цих, А.В. Яворський, С.П. Ващишак // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2011. - №3 (29). – С. 104-111.
2. Цих В.С. Особливості реалізації методики контролю підземних нафтопроводів на території нафтоперекачувальних станцій / В.С. Цих, А.В. Яворський, С.П. Ващишак // Нафтогазова енергетика. – 2011. - №3. – С. 30-40.
3. Цих В.С. Возможности бесконтактного определения мест отслоений изоляционного покрытия подземных нефтегазопроводов путем анализа их электрических параметров / В.С. Цих, А.В. Яворский, С.П. Ващишак // Scientific Proceedings (Болгария). – 2012. - №1 (133). – С.277-280.
4. Цих В.С. Аналитическое моделирование для определения возможностей обнаружения отслоений изоляционного покрытия подземных нефтегазопроводов с помощью фазового метода контроля / В.С. Цих // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело", Россия. – 2012. - №5. – С. 496-506.
5. Цих В.С. Удосконалення підходу до електромагнітного контролю стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів / В.С. Цих // Методи та прилади контролю якості. – 2013. - №1 (30). – С. 24-32.
6. Цих В.С. Багатопараметровий контроль стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів / В.С. Цих // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2013. - №3 (71). – С. 220-229. – ISSN 1727-7108 (видання входить до наукометричної бази даних IET Inspec).
7. Цих В.С. Усовершенствованный подход к идентификации дефектов изоляционных покрытий подземных нефтегазопроводов / В.С. Цих, А.В. Яворский // Scientific Proceedings (Болгария). – 2013. - №2 (139). – С.44-47.
8. Цих В.С. Експериментальне підтвердження застосування комплексного підходу до виявлення та ідентифікації дефектів ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів / В.С. Цих, А.В. Яворський // Нафтогазова енергетика. – 2013. - №2 (20). – С. 92-100.
9. Цих В.С. Ідентифікація дефектів ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів на території складних технологічних об'єктів / В.С. Цих, А.В. Яворський // Методи та прилади контролю якості. – 2013. - №2. – С. 7-13.
10. Пат. 77975 Україна, МПК G01N 27/24. Спосіб безконтактного контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів / заявники: Цих В.С., Яворський А.В., Ващишак С.П., Карпаш О.М., патентовласник: Івано-Франківський

національний технічний університет нафти і газу. – u201206856; заявл. 05.06.2012; опуб. 11.03.2013. – 4 с.

11. Цих В.С. Особливості реалізації методики контролю технічного стану підземних нафтогазопроводів за умови неповних апіорних даних та неконтрольованих впливів на інформативний сигнал на прикладі НПС «Августівка» / В.С. Цих, А.В. Яворський // Міжнародна науково-технічна конференція «Нафтогазова енергетика – 2011»: Анотації (10-14 жовтня 2011 р.). – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2011. – С. 58.

12. Цих В.С. Проблеми ідентифікації дефектів підземних нафтогазопроводів з поверхні землі / В.С. Цих, А.В. Яворський // Перша Міжнародна наукова конференція пам'яті професора Володимира Поджаренка «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (18-20 жовтня 2011 року). – Вінниця: ВНТУ. – 2011. – С. 40.

13. Цих В.С. Проблемы бесконтактного поиска мест отслоений изоляционного покрытия подземных нефтегазопроводов с поверхности земли / В.С. Цих, А.В. Яворський // «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта»: материалы VII Международной научно-технической конференции (Новополоцк, 22-25 ноября 2011 г.). – Новополоцк: ПГУ. – 2011. – С. 155-156.

14. Цих В.С. Методика виявлення пошкоджень ізоляційного покриття підземних нафтопроводів з поверхні землі в умовах НПС / В.С. Цих, А.В. Яворський // Третя науково-практична конференція студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання»: Збірник тез доповідей (29-30 листопада 2011 р.). – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2011. – С. 166-168.

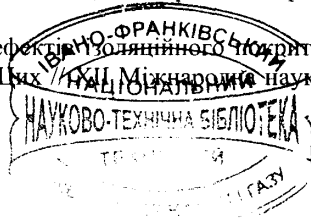
15. Цих В.С. Проблеми контролю підземних нафтопроводів на території нафтоперекачувальних станцій / В.С. Цих, А.В. Яворський // 17 Міжнародна науково-технічна конференція «Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів ЛЕОТЕСТ-2012» (20-25 лютого 2012 р.): Матеріали конференції. – Львів. – 2012. – С. 50-53.

16. Цих В.С. Теоретичні аспекти безконтактного пошуку місць відшарувань ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів / В.С. Цих, А.В. Яворський // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи» (24-25 квітня 2012 р.): Збірник тез доповідей. – К. – 2012. – С. 207.

17. Цих В.С. Підходи до обстеження ізоляційного покриття підземних нафтопроводів в умовах нафтоперекачувальних станцій / В.С. Цих, А.В. Яворський, С.П. Ващишак // Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції (Івано-Франківськ, 15-18 травня 2012). – Івано-Франківськ. – 2012. – С. 324-326.

18. Цих В.С. Фазовий контроль відшарувань ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів / В.С. Цих, А.В. Яворський, О.М. Карпаш // 7-а Національна науково-технічна конференція і виставка «Неруйнівний контроль та технічна діагностика» (Україна, Київ, 20-23 листопада 2012): Матеріали конференції. – К. : УТ НКГД, 2012. – С. 339-343.

19. Цих В.С. Методика виявлення дефектів ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів з поверхні землі / В.С. Цих // Міжнародна науково-технічна



конференція «Приладобудування: стан і перспективи» (23-24 квітня 2013р.): Збірник тез доповідей. – К. – 2013. – С. 205.

20. Цих В.С. Новітні підходи до обстеження стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів у складних умовах / В.С. Цих // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика 2013» (м. Івано-Франківськ, 7-11 жовтня 2013). – Івано-Франківськ. – 2013. – С. 310-313.

21. Цих В.С. Підвищення інформативності контролю стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів в умовах наявності суміжних комунікацій та споруд / В.С. Цих, А.В. Яворський // Друга Міжнародна наукова конференція пам'яті професора Володимира Поджаренка «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (28-31 жовтня 2013 року). – Вінниця: ВНТУ. – 2013. – С. 43-45.

22. Цих В.С. Ідентифікація дефектів ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів з поверхні землі в складних умовах / В.С. Цих, А.В. Яворський // 4-та науково-практична конференція студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (26-27 листопада 2013 року). – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2013. – С. 191-193.

#### АНОТАЦІЯ

**Цих В.С. Розроблення методу та засобу контролю дефектів ізоляції підземних трубопроводів. – 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, м. Івано-Франківськ, 2014.

Дисертація присвячена питанню контролю ізоляційного покриття підземних трубопроводів на території технологічних об'єктів нафтогазового комплексу.

Проведено аналіз основних методів і засобів контролю технічного стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів. Поділено всі існуючі дефекти ізоляції на два види: наскрізні пошкодження та відшарування. Проаналізовано особливості дефекту ізоляційного покриття типу відшарування ізоляції та його вплив на зміну електричних характеристик підземного ізолюваного трубопроводу. Доведено доцільність застосування електромагнітного фазового методу контролю для виявлення таких дефектів. Одержано аналітичну модель залежностей питомого зсуву фази для ділянки підземного трубопроводу з відшаруванням ізоляції. Спроектовано та змонтовано експериментальну модель ділянки підземного трубопроводу з різними дефектами ізоляційного покриття. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень та експериментальний взірець інформаційно-вимірювальної системи. Проведено вимірювання основних інформативних параметрів на моделі підземного трубопроводу на навчально-науковому полігоні для технічної діагностики підземних комунікацій. Розроблено комплексний метод виявлення та ідентифікації дефектів ізоляційного покриття на основі аналізу двох інформативних параметрів (амплітуди та фази струму в стінках трубопроводу). Запропоновано методику виявлення дефектів ізоляційного покриття підземних трубопроводів, на основі якої розроблено проект нормативного

документу (СОУ). Проведено апробацію методики та експериментального взірця інформаційно-вимірювальної системи для виявлення та ідентифікації дефектів ізоляційного покриття підземних трубопроводів.

**Ключові слова:** підземний трубопровід, ізоляційне покриття, дефект, відшарування, інформативний параметр, струм у стінках трубопроводу, зсув фази, метод, методика, ідентифікація.

### **АННОТАЦИЯ**

**Цих В.С. Разработка метода и прибора контроля дефектов изоляции подземных трубопроводов. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава вещества. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2014.

Диссертация посвящена вопросу контроля изоляционного покрытия подземных трубопроводов на территории технологических объектов нефтегазового комплекса, а именно – трубопроводов, размещенных на территории автомобильных газонаполнительных, компрессорных, газораспределительных и нефтеперекачивающих станций.

Проведен анализ основных методов и средств контроля технического состояния изоляционных покрытий подземных трубопроводов, а также проанализированы главные проблемы, которые могут возникать во время контроля таких трубопроводов на территории технологических объектов нефтегазового комплекса. Разделены все существующие дефекты изоляционных покрытий на два вида – сквозные повреждения и отслоения изоляции. Особое внимание уделено дефектам типа отслоения, поскольку существующие подходы и методики контроля технического состояния изоляции не дают возможность определять местоположение таких дефектов с поверхности земли в виду особенности их характеристик.

Проведены теоретические исследования по изменению удельного сдвига фазы измеряемого сигнала при изменении емкостей и соответственно геометрических параметров отслоений изоляционного покрытия. Доказана целесообразность применения электромагнитного фазового метода контроля для выявления таких дефектов. Получена аналитическая модель зависимостей сдвига фазы для участка подземного трубопровода с отслоением изоляции с учетом параметров грунта, в котором размещен исследуемый трубопровод.

Разработана схема и создана экспериментальная модель участка подземного трубопровода с различными дефектами изоляционного покрытия (сквозными повреждениями и отслоениями изоляции) на специальном учебно-научном полигоне для технического диагностирования подземных коммуникаций. Предложена методика проведения экспериментальных исследований, для чего создан экспериментальный образец информационно-измерительной системы. Проведены измерения основных информативных параметров (сдвига фазы и амплитуды тока в стенках) на модели подземного трубопровода на учебно-научном полигоне.

На основании проведенных измерений значений тока в стенках исследуемого трубопровода получено экспериментальное подтверждение эффекта вытекания тока со свойственными изменениями в месте сквозного повреждения изоляции. Оценена

возможность идентификации сквозного повреждения на основании оценки критических значений точек распределения хи-квадрат.

Разработан комплексный метод обнаружения и идентификации дефектов изоляционного покрытия на основе анализа двух информативных параметров (удельного изменения значений тока в стенках трубопровода и удельного сдвига фазы измеряемого сигнала).

Разработана методика определения местоположения повреждений изоляционных покрытий подземных трубопроводов на территории технологических объектов нефтегазового комплекса. Проведены полевые исследования, а также промышленная апробация методики и экспериментального образца информационно-измерительной системы для обнаружения и идентификации дефектов изоляционного покрытия подземных трубопроводов, которые подтвердили их работоспособность в условиях действующих объектов нефтегазового комплекса.

**Ключевые слова:** подземный трубопровод, изоляционное покрытие, дефект, отслоение, информативный параметр, ток в стенках трубопровода, сдвиг фазы, метод, методика, идентификация.

#### ABSTRACT

**Tsykh V.S. Development of method and instrument for buried pipelines coating damages monitoring. – 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. – 2014.

Thesis is devoted to the issue of insulated coating monitoring of buried pipeline situated at the oil and gas complex production facilities.

The analysis of basic methods and equipment for technical condition of buried pipelines insulated coating monitoring is realized. All existing coating defects are divided into two types: holes and coating disbondings. Coating disbonding damage singularity and its influence on buried insulated pipeline electrical parameters variances is analyzed. The feasibility of the phase electromagnetic testing method for such damages detection is proved. An analytical model of specific phase displacement for buried pipeline section with coating disbonding is deduced. An experimental model of buried pipeline section with different coating damages is planned and constructed. The technique of experimental investigations and operative embodiment of information and measuring system are developed. The measuring of the fundamental information-bearing parameters at the model of buried pipeline situated at the special educational and scientific training range for buried utilities technical diagnostic is made. A complex method for coating damages detection and identification on the basis of two information-bearing parameters analyzes (the range and the phase of pipeline current) is developed. The technique of buried pipelines coating damages detection is suggested whereby a standardized document project has been developed. An improvement of technique and information and measuring system for buried pipeline insulated coating damages detection and identification is made.

**Keywords:** buried pipeline, insulated coating, damage, disbonding, information-bearing parameter, pipeline current, phase displacement, method, technique, identification.