

620.179.1(093)
В23

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ВАЩИШАК ІРИНА РОМАНІВНА



УДК 620.179

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ
ПІДЗЕМНИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2012

Дисертацією є рукопис



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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Карпаш Олег Михайлович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, проректор з наукової роботи

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
Мандра Андрій Анатолійович
Кременчуцьке лінійно-виробниче управління магістральних газопроводів "Черкаситрансгаз", керівник

Захист відбудеться 14 грудня 2012 р. о 11⁰⁰ 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 12 листопада 2012 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, професор

Дранчук М.М.



an2306

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Одним з факторів, що забезпечують стабільний розвиток суспільства, є створення комфортних умов для функціонування підприємств та проживання населення. В значній мірі цьому сприяє надійна робота систем теплопостачання. Вирішення завдання надійності роботи таких систем неможливе без оперативного виявлення їх пошкоджень (дефектів).

Слід зазначити, що найменш надійним елементом систем теплопостачання є підземні теплові мережі, на долю яких припадає більше 70% всіх аварійних ситуацій. Це призводить до значних економічних збитків через перевитрати теплоносія та енергоресурсів, виконання позапланових ремонтних робіт і погіршення умов проживання та праці людей.

Для зменшення теплових втрат прокладання нових і заміну старих тепломереж з мінераловатною ізоляцією здійснюють більш ефективними трубопроводами з пінополіуретановою (ППУ) ізоляцією. Нормативні терміни служби таких трубопроводів сягають 25 – 30 років. Однак, внаслідок порушень технології виготовлення, монтажу та укладання, а також через те, що значна частина трубопроводів виготовляється зі старих газопровідних труб, у трубопроводах з ППУ-ізоляцією виникають дефекти вже на перших роках експлуатації.

На даний час розроблена широка гама методів та засобів виявлення дефектів в системах теплопостачання. Проте, у кожного методу є свої особливості, які в більшості випадків не дають можливості знаходити дефекти трубопроводів з ППУ-ізоляцією та визначати їх вид. Це пояснюється багат шаровою конструкцією трубопроводів з ППУ-ізоляцією, безканальним способом прокладання та режимами експлуатації теплової мережі.

Тому задача удосконалення існуючих методів безконтактного контролю технічного стану підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції є надзвичайно актуальною, вирішення якої дозволить більш своєчасно визначати місця дефектів і їх види, ефективно планувати ремонтні роботи та встановлювати їх першочерговість.

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

Дисертаційна робота виконувалася у рамках науково-дослідної роботи НУ-7 „Розроблення та впровадження енергоефективних технологій на діючих енергоємних об'єктах нафтогазового комплексу” (№ держреєстрації 0111U008841, угода ІФНТУНГ із МОН України) та 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 МОН України). Ці роботи виконувалися за безпосередньою участю автора як виконавця окремих розділів.

Мета роботи полягає у вирішенні важливої науково-прикладної задачі в галузі приладів і методів неруйнівного контролю - в удосконаленні методів безконтактного контролю технічного стану підземних теплових мереж безканальної прокладки з трубопроводами в ППУ-ізоляції шляхом дослідження та застосування комплексу інформативних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- проаналізувати сучасний стан розвитку методів та засобів контролю технічного стану підземних теплових мереж;
- провести теоретичні дослідження щодо удосконалення методів контролю для визначення комплексу інформативних параметрів, які характеризують вплив виду дефекту на технічний стан підземної теплової мережі з трубопроводами в ППУ-ізоляції;
- розробити методику та установку для проведення експериментальних досліджень технічного стану підземної теплової мережі та визначення виду виявленого дефекту;
- розробити метод ідентифікації видів дефектів у підземних теплових мережах на основі застосування комплексу інформативних параметрів;
- розробити та здійснити промислово апробацію експериментального взірця інформаційно-виміральної системи і методики контролю технічного стану підземних теплових мереж.

Об'єктом дослідження є деградаційні процеси, які виникають у підземних теплових мережах безканальної прокладки з трубопроводами в ППУ-ізоляції і призводять до зміни їх технічного стану.

Предметом дослідження є методи та засоби неруйнівного контролю технічного стану підземних теплових мереж.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі задач використовувались методи фізичного моделювання для імітації роботи системи теплопостачання, математичного моделювання для встановлення характеру взаємозв'язку інформативних параметрів з видами дефектів, перетворення Фур'є та сучасні методи статистичного оброблення експериментальних даних. У ході виконання експериментальних досліджень використовувались методи планування експерименту. Розроблення експериментального взірця інформаційно-виміральної системи здійснювалось з використанням методів схемотехніки та системотехніки.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вперше отримано залежність акустичного тиску на поверхні ґрунту від інтенсивності акустичного збудження трубопроводу з урахуванням фізичних характеристик середовищ на шляху поширення акустичної хвилі, що дало змогу підвищити ефективність мікрофонного методу контролю та застосувати його для виявлення дефектів в безканальних підземних теплових мережах з трубопроводами в ППУ-ізоляції;
- вперше проведено фізичне моделювання процесів, які протікають в безканальних підземних теплових мережах, на установці для експериментальних досліджень підземних теплових мереж з імітацією дефектів, що дало змогу оцінити адекватність аналітичних моделей;
- вперше розроблено метод ідентифікації видів дефектів у підземних теплових мережах на основі порівняльної бальної оцінки виміряних та розрахованих за аналітичними моделями значень інформативних параметрів;
- набув подальшого розвитку індукційний метод контролю шляхом удосконалення способу, що дало змогу застосувати його для оцінки технічного стану безканальних підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції.

Положення, що виносяться на захист:

1. Удосконалений підхід до контролю технічного стану безканальних підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції, який передбачає урахування трьох інформативних параметрів одночасно, які отримуються в результаті впливу різних типів фізичних полів.

2. Метод ідентифікації видів дефектів у підземних теплових мережах на основі застосування комплексу інформативних параметрів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у проведенні класифікації основних дефектів, які виникають у трубопроводах підземних теплових мереж з ППУ-ізоляцією, на такі види: „розрив трубопроводу”, „руйнування тепло- та гідроізоляції”, „руйнування гідроізоляції”, „мігруюча вода”; удосконаленні методів акустичного та магнітного неруйнівного контролю підземних теплових мереж, що дало змогу використати комплекс інформативних параметрів для вирішення задачі ідентифікації дефектів за їх видами; та розробленні експериментального взірця інформаційно-вимірювальної системи для контролю технічного стану підземних теплових мереж, який пройшов промислової апробацію на об'єктах ДМП „Івано-Франківськтеплокомуненерго” (акт промислової апробації від 20.02.12р.), КП „Водотеплосервіс” на території міста Калуш (акт промислової апробації від 28.02.12р.) та нафтоперекачувальної станції „Куровичі” філії „Магістральні нафтопроводи „Дружба” ВАТ „Укртранснафта” (акт промислової апробації від 27.03.12р.). Розроблено проект нормативного документу (СОУ) на методику проведення контролю підземних теплових мереж безканальної прокладки з трубопроводами в ППУ-ізоляції.

Результати дисертаційного дослідження (експериментальний взірець інформаційно-вимірювальної системи для контролю підземних теплових мереж і методика проведення контролю) впроваджено для використання фахівцями НВФ „Зонд” при проведенні робіт по експертному обстеженню підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції прокладених безканальним способом (акт впровадження від 15.05.12р.).

Особистий внесок здобувача.

Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. Зокрема, в опублікованих роботах, автором проаналізовано відомі методи та засоби контролю підземних теплових мереж [3]; проведено теоретичні дослідження мікрофонного [7, 11, 15, 18], індукційного [8, 11, 15, 18] та теплового [1, 2, 10, 11, 13, 15] методів контролю з метою їх застосування для виявлення дефектів в підземних теплових мережах з трубопроводами в ППУ-ізоляції; розроблено установку для експериментальних досліджень підземних теплових мереж з імітацією різних видів дефектів [5, 16, 20]; розроблено методику та проведено комплекс експериментальних досліджень технічного стану підземної теплової мережі з метою перевірки адекватності аналітичних моделей [4, 12, 14, 17, 22]; розроблено метод ідентифікації видів дефектів у підземних теплових мережах на основі застосування комплексу інформативних параметрів [19, 21]; розроблено експериментальний взірець інформаційно-вимірювальної системи для контролю підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції, сформульовано методику його роботи [6, 9].

Апробація роботи.

Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 6-ій науково-технічній конференції „Приладобудування 2007: стан і перспективи” (м. Київ, 2007р.), на 5-ій міжнародній науково-технічній конференції „Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання” (м. Івано-Франківськ, 2008р.), на 6-ій національній науково-технічній конференції „Неруйнівний контроль та технічна діагностика” (м. Київ, 2009р.), на 2-ій науково-практичній конференції студентів і молодих учених „Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання” (м. Івано-Франківськ, 2009р.), на 9-ій науково-технічній конференції „Приладобудування 2010: стан і перспективи” (м. Київ, 2010р.), на 16-ій міжнародній науково-технічній конференції „Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів ЛЕОТЕСТ-2011” (м. Славське, Львівської області, 2011р.), на 1-ій міжнародній науковій конференції пам’яті професора Володимира Поджаренка „Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах ВКДТС-2011” (м. Вінниця, 2011р.), на 6-ій міжнародній науково-технічній конференції „Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання” (м. Івано-Франківськ, 2011р.), на 17-ій міжнародній науково-технічній конференції „Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів ЛЕОТЕСТ-2012” (м. Славське, Львівської області, 2012р.), на 11-ій науково-технічній конференції „Приладобудування 2012: стан і перспективи” (м. Київ, 2012 р.), міжнародній науково-технічній конференції „Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу 2012” (м. Івано-Франківськ, 2012р.), на 27-ій міжнародній конференції „Дефектоскопія 2012” (м. Созополь, Болгарія, 2012) 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 2009-2012 р.р.

Публікації.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 22 друковані праці, з них 8 статей у фахових наукових виданнях України (в тому числі 3 одноособові), 13 тез доповідей на конференціях (в тому числі 7 одноособових), 1 патент України на корисну модель.

Структура та об’єм роботи.

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, списку використаних джерел та додатків. Дисертація викладена на 150 сторінках. Крім того робота проілюстрована 36 рисунками, включає 3 таблиці, список використаних джерел із 155 найменувань та 15 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику дисертаційної роботи. Розкрито суть та стан науково-технічної проблеми контролю технічного стану підземних теплових мереж безканальної прокладки з трубопроводами в ППУ-ізоляції. Обґрунтовано актуальність теми, що дало можливість сформулювати мету та основні задачі дослідження. Розкрито наукову новизну та практичне значення

одержаних результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію роботи.

У першому розділі наведено характеристики підземної теплової мережі, умови її експлуатації та дефекти, які при цьому виникають. Трубопроводи з ППУ-ізоляцією характеризуються тим, що за рахунок багатшарової структури і специфічних характеристик в них виникають дефекти, які не були властиві тепломережам з мінераловатною ізоляцією. Оскільки на даний час немає нормативної документації, в якій наведена класифікація таких дефектів, то на основі проведеного анкетування та аналізу літературних джерел і нормативних документів здійснена класифікація видів основних дефектів, які виникають в трубопроводах з ППУ-ізоляцією. Такими дефектами є: „розрив трубопроводу”, „руйнування тепло- та гідроізоляцій”, „руйнування гідроізоляції”, „мігруюча вода”.

Проведено аналіз методів і засобів контролю підземних теплових мереж. Дослідженню питання контролю підземних теплових мереж присвячено ряд робіт зарубіжних та вітчизняних вчених, таких як Безпрозваний А.О., Трикоз П.І., Воробйов Л.Й., Декуша Л.В., Кухарев Ю.О. (Україна), Самойлов Е.В., Иванов В.В., Шкрєбко С.В., Чернышева Л. А. (Росія), Gregory R Stockton, John Rudlin (США), Hua He, Qi Ding (Китай). Однак, їх увага зосереджувалась, в основному, на розробці та технічній реалізації теплових і акустичних методів контролю теплових мереж каналної прокладки.

Аналіз відомих методів контролю показав, що на даний час не існує універсального методу контролю стану трубопроводів підземних теплових мереж, який би давав змогу виявляти їх дефекти, а значну частину інформативних параметрів контролюють шляхом прямого доступу до об'єкта. Також, застосування відомих методів обмежується фізичними характеристиками безканально прокладеної теплової мережі з трубопроводами в ППУ-ізоляції.

Аналіз нормативної документації показав, що для теплових мереж, які перебувають в експлуатації, відсутні описи технологій проведення контролю на основі комплексного використання сучасних безконтактних методів контролю, а застосування описаних технологій має рекомендаційний характер.

На підставі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність розроблення нового підходу до контролю технічного стану підземних теплових мереж шляхом удосконалення методів контролю та застосування комплексу інформативних параметрів, що відносяться до різних типів фізичних полів. До найбільш перспективних методів контролю теплових мереж з ППУ-ізоляцією віднесено індукційний та мікрофонний методи. Тому для контролю тепломереж обрано комплекс інформативних параметрів, а саме струм у стінках трубопроводу та звуковий тиск на поверхні ґрунту. До інформативних параметрів включено температуру приповерхневого шару ґрунту над тепломережею, що дало змогу отримати додаткову інформацію про вид дефекту.

Обґрунтовано необхідність удосконалення індукційного та мікрофонного методів контролю підземних теплових мереж і розробки методу ідентифікації видів дефектів на основі комплексного застосування інформативних параметрів. Сформульовано завдання, що потребують вирішення, та обрано напрямки подальших досліджень.

Другий розділ присвячений теоретичним дослідженням щодо удосконалення методів безконтактного контролю технічного стану підземних теплових мереж для визначення комплексу інформативних параметрів.

Технічний стан підземної теплової мережі визначається станом її окремих частин (трубопровід, тепло- та гідроізоляції). Кожен з параметрів технічного стану підземної теплової мережі характеризується наявністю того чи іншого виду дефекту або його відсутністю. Вид дефекту можна визначити за зміною значення інформативних параметрів, яка буде зумовлена поведінкою певних діагностичних ознак (геометричні параметри теплової мережі, температурні характеристики, вологість і густина ізоляції, піщаної та ґрунтової засипок тощо). Проведено теоретичні дослідження з метою виявлення впливу зміни значень діагностичних ознак на зміну інформативних параметрів для контролю індукційним та мікрофонним методами.

Для застосування індукційного методу контролю підземних теплових мереж використано елемент навантаження, який приєднується на кінці ділянки контролю між трубопроводом та ґрунтом. Елемент навантаження служить для запобігання ураження струмом споживачів тепла, а також для створення необхідного опору навантаження в лінії контролю на різних частотах, що підвищує імовірність виявлення дефектів.

Побудовано електричну схему заміщення ділянки підземного трубопроводу з ППУ-ізоляцією (рис.1) та розраховано елементи схеми заміщення з врахуванням характеристик елемента навантаження і діагностичних ознак.

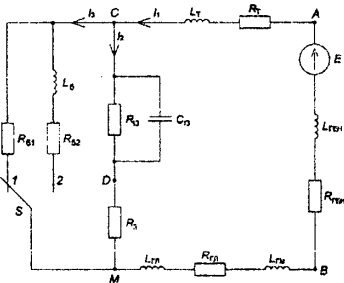


Рис. 1. Електрична схема заміщення ділянки підземного трубопроводу з ППУ-ізоляцією

В результаті теоретичних досліджень отримано аналітичну залежність струму у стінках трубопроводу, який утворює змінне магнітне поле, від зміни значень діагностичних ознак, що зумовлені наявністю дефекту:

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{(R_{Tn} \cdot I)^2 + (\omega \cdot L_{Tn} \cdot I)^2 + \sqrt{(\omega \cdot L_{Tn} \cdot I)^2 + \sqrt{(R_T \cdot I)^2 + (\omega \cdot L_T \cdot I)^2 + \sqrt{(R_{Tn})^2 + (\omega \cdot L_{Tn})^2 + Z}}}}}, \quad (1)$$

де

$$Z = \frac{\left(\left(\sqrt{\left(\frac{1}{R_B \cdot I} \right)^2 + (\omega \cdot C_B)^2} \right)^{-1} + R_3 \right) \cdot \sqrt{R_6^2 + (L_6 \cdot \omega)^2}}{\left(\left(\sqrt{\left(\frac{1}{R_B \cdot I} \right)^2 + (\omega \cdot C_B)^2} \right)^{-1} + R_3 + \sqrt{R_6^2 + (L_6 \cdot \omega)^2} \right)}$$

E - вихідна напруга генератора при навантаженні, $R_{гд}$ - питомий активний опір ґрунту вздовж трубопроводу, R_T - питомий активний опір втрат у трубопроводі, $R_{ген}$ - активний опір генератора, R_B - питомий активний опір ізоляційного покриття, R_3 - активний опір ґрунту струмові стікання, R_6 - активний опір елемента навантаження, $L_{гд}$ - питома внутрішня індуктивність ґрунту навколо трубопроводу, $L_{гм}$ - питома зовнішня індуктивність трубопроводу, L_T - питома внутрішня індуктивність трубопроводу, $L_{ген}$ - індуктивність генератора, L_6 - індуктивність елемента навантаження, C_B - ємність ізоляційного покриття, l - довжина ділянки контролю, ω - кругова (циклічна) частота змінного струму генератора.

У результаті проведених теоретичних досліджень підтверджено можливість застосування індукційного методу контролю для виявлення дефектів виду „розрив трубопроводу” і „руйнування тепло- та гідроізоляції”. Однак за рахунок значного опору ізоляцій трубопроводу дефекти виду „руйнування гідроізоляції” та „мігруюча вода” не впливають на зміну інформативного параметру.

Для застосування мікрофонного методу при виявленні дефектів в безканальних підземних теплових мережах з трубопроводами в ППУ-ізоляції запропоновано удосконалення, яке полягає в підвищенні ефективності методу шляхом збудження акустичних коливань у трубопроводі та реєстрації їх з поверхні ґрунту високочутливим мікрофоном. Збуджені п'єзоперетворювачем чи магнітостриктором акустичні хвилі, поширюючись від поверхні металевого трубопроводу до поверхні ґрунту, змінюють свої характеристики залежно від наявності дефекту. Основним фактором формування акустичного поля на поверхні ґрунту є поступове загасання енергії акустичних хвиль при розповсюдженні їх в різних середовищах та проходження меж поділу середовищ.

Для встановлення взаємозв'язку між інформативним параметром мікрофонного методу (акустичним тиском на поверхні ґрунту) та значеннями діагностичних ознак проведено аналітичне моделювання процесу поширення акустичних хвиль від одиничного трубопроводу за схемою: генератор акустичних коливань – поверхня металевого трубопроводу – теплоізоляція - гідроізоляція – піщана засипка - ґрунтова засипка – приймач (мікрофон).

Оскільки акустична система „трубопровід – ґрунт” складається з багатьох середовищ з різними акустичними характеристиками, то при переході акустичної хвилі через межу розділу середовищ відбуваються процеси її заломлення і відбивання, а геометричні параметри акустичної системи „трубопровід – ґрунт” задають жорсткі обмеження на використання детально опрацьованих теоретичних моделей акустики, тому для опису процесу розповсюдження акустичної хвилі прийнято спрощення. У поперечному перерізі системи „трубопровід – ґрунт” виділено тонкий шар і розглянуто поширення акустичної хвилі вздовж променя OB . При досить малій товщині шару поширення акустичної хвилі вважатимемо як поширення плоскої хвилі.

Розрахункова схема ходу акустичної хвилі наведена на рис.2.

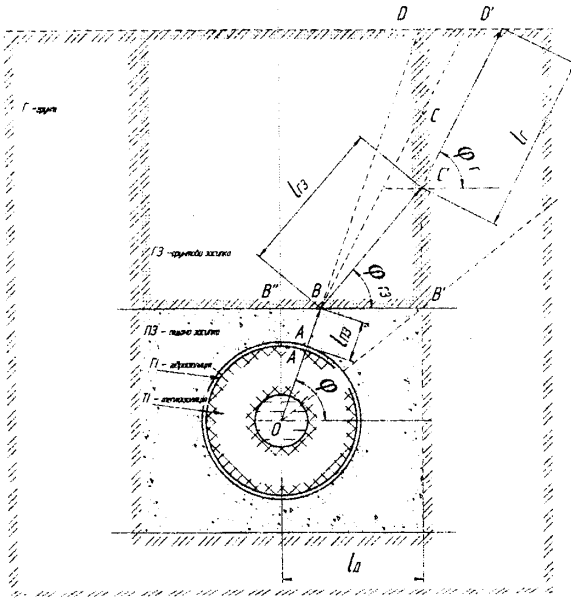


Рис. 2. Розрахункова схема ходу акустичної хвилі

Шляхом моделювання процесу поширення збуджених акустичних хвиль від трубопроводу до поверхні ґрунту, вперше отримано аналітичну залежність акустичного тиску на поверхні ґрунту від інтенсивності акустичного збудження трубопроводу, яка враховує акустичні характеристики пройдених середовищ:

$$P_{\Pi} = \sqrt{\frac{J \cdot c_T}{2 \cdot \pi^2 \cdot \rho_T \cdot r_T^2 \cdot f^2}} \cdot \rho_T \cdot c_T \cdot \prod_{i=1}^m T_i \cdot e^{-\sum_{i=1}^m (\alpha_i \cdot l_i)} \quad (2)$$

де J - інтенсивність акустичного збудження; c_T - швидкість звуку в матеріалі трубопроводу; ρ_T - густина матеріалу трубопроводу; r_T - зовнішній радіус трубопроводу; f - частота сигналу збудження; T_i - коефіцієнт проходження за акустичним тиском через границю розподілу середовищ, значення якого залежить від акустичних імпедансів середовищ; α_i - коефіцієнт поглинання акустичної хвилі в пройденому середовищі; l_i - довжина ходу акустичної хвилі в пройденому середовищі; n - кількість середовищ, через які поширюється акустична хвиля; m - кількість меж поділу середовищ.

Враховання діагностичних ознак в аналітичній залежності (2) дало змогу з достатньою точністю відтворити процес поширення акустичних хвиль та врахувати вплив кожного виду дефекту на результуюче значення акустичного тиску на поверхні ґрунту.

Для визначення впливу основних дефектів трубопроводів теплових мереж на зміну теплових полів на поверхні ґрунту проведено теоретичні дослідження

розподілу температури вздовж контрольованого трубопроводу з урахуванням шарів його ізоляцій, піщаної та ґрунтової засипок. В результаті отримано вираз для обчислення теплових втрат тепловою мережею за вимірними значеннями температури на поверхні ґрунту над тепловою мережею:

$$Q_{\text{вт}} = \frac{1}{\left[\frac{h_{\text{т}}}{k_{\text{т}} \cdot S_{\text{в-т}}} + \frac{h_{\text{п}}}{k_{\text{п}} \cdot S_{\text{т-п}}} + \frac{h_{\text{гі}}}{k_{\text{гі}} \cdot S_{\text{п-гі}}} + \frac{h_{\text{гіз}}}{k_{\text{гіз}} \cdot S_{\text{гі-гіз}}} + \frac{h_{\text{гз}}}{k_{\text{гз}} \cdot S_{\text{гіз-гз}}} \right]} \cdot (T_{\text{в}} - T_{\text{зовн}}), \quad (3)$$

де $k_{\text{т}}$, $k_{\text{п}}$, $k_{\text{гі}}$, $k_{\text{гіз}}$, $k_{\text{гз}}$ - коефіцієнти теплопровідності матеріалу трубопроводу, теплоізоляції, гідроізоляції, піщаної та ґрунтової засипок, відповідно; $h_{\text{т}}$, $h_{\text{п}}$, $h_{\text{гі}}$, $h_{\text{гіз}}$, $h_{\text{гз}}$ - товщини трубопроводу, теплоізоляції, гідроізоляції, піщаної та ґрунтової засипок, відповідно; $S_{\text{в-т}}$, $S_{\text{т-п}}$, $S_{\text{п-гі}}$, $S_{\text{гі-гіз}}$, $S_{\text{гіз-гз}}$ - площі контакту середовищ, через які проходить тепловий потік; $T_{\text{в}}$ - температура теплоносія; $T_{\text{зовн}}$ - температура на поверхні ґрунту.

Для розрахунку теплових втрат з урахуванням зміни температури теплоносія по довжині ділянки контролю отримано вираз:

$$Q_{\text{вт}}(l) = K_{\text{зв}} \cdot (T_{\text{в0}} - T_{\text{зовн}} - \frac{q \cdot l}{G \cdot c_{\text{в}}}), \quad (4)$$

де l - довжина ділянки контролю, $T_{\text{в0}}$ - температура теплоносія на початку ділянки контролю, q - нормовані питомі теплові втрати, G - витрата води, $c_{\text{в}}$ - питома теплоємність води, $K_{\text{зв}}$ - сумарний коефіцієнт теплопровідності середовищ.

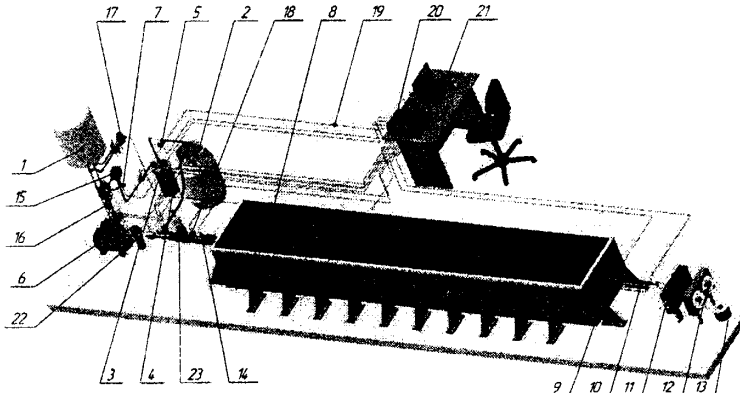
На основі проведених досліджень обґрунтовано доцільність застосування для виявлення дефектів підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції саме контактного теплового методу контролю, що дозволило мінімізувати вплив температурних умов зовнішнього середовища на результати контролю.

В результаті проведених теоретичних досліджень встановлено діапазони змін інформативних параметрів для кожного виду дефекту підземних теплових мереж.

У третьому розділі приведено методику та результати дослідження інформативних параметрів, які виконувались на спеціально створеній установці для експериментальних досліджень підземної теплової мережі з трубопроводами в ППУ-ізоляції, а також розроблено метод ідентифікації видів дефектів підземних теплових мереж.

Для проведення досліджень підземних теплових мереж на фізичній моделі методами неруйнівного контролю з діапазоном зміни режимів експлуатації близьких до реальних створено установку, яка відтворює роботу пункту теплопостачання одного споживача двотрубною підземною тепловою мережею закритого типу, прокладеною безканално. Розроблено функціональну схему установки та її 3D-модель, наведену на рис.3. На основі розробленої 3D-моделі та підібраних технічних засобів, створено установку для контролю технічного стану підземної теплової мережі, яка знаходиться в корпусі № 6 ІФНТУНГУ (с.Загвіздя) (рис.4).

Для відтворення основних видів дефектів, які найчастіше зустрічаються при експлуатації підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції, виготовлено зразки-імітатори дефектів, на які розроблено технічні паспорти.



1 - бойлер, 2 - бак запасу води, 3 - бак підготовки води, 4 - плитка, 5, 6 - відцентрові насоси, 7 - електромагнітний клапан, 8 - полігон-імітатор, 9 - подавальний трубопровід, 10 - зворотний трубопровід, 11 - радіатор, 12 - вентиляторний блок, 13 - автотрансформатор, 14 - напівпровідникові термодавачі, 15 - манометри, 16 - аналоговий давач тиску, 17 - інтелектуальний давач тиску, 18 - лічильники гарячої води, 19 - лінії зв'язку, 20 - блок збирання та обробки інформації, 21 - ПК, 22 - фільтр, 23 - розширювальний бачок

Рис.3. 3D-модель установки для дослідження підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції

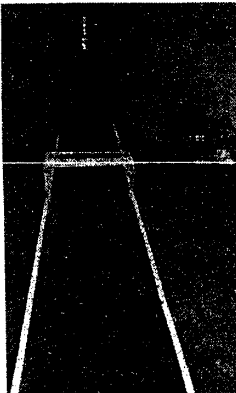


Рис.4. Установка для дослідження технічного стану підземної теплової мережі

На установці проведено експериментальні дослідження зміни рівня інформативних параметрів при наявності дефектів за розробленою методикою, яка дозволила зменшити вплив акустичних, електромагнітних та теплових завад на результати контролю.

Для ефективного контролю підземних теплових мереж індукційним методом вибрано частоти 2.5, 5, 10, 20 кГц. На рис. 5 наведено один із отриманих результатів вимірювання струму в стінках трубопроводу при глибині залягання тепломережі 0.2 м. Результати вимірювання при різних видах дефектів показали, що до дефектів виду „мігруюча вода” та „руйнування гідроізоляції” даний метод контролю є нечутливим. Для ефективного контролю підземних теплових мереж мікрофонним методом вибрано частоти 0.5, 1, 2, 4 кГц. На рис. 6 наведено один із отриманих результатів вимірювання акустичного тиску на поверхні ґрунту.

Результати вимірювання показали, що найкраще мікрофонним методом виявляються дефекти виду „розрив трубопроводу” і „руйнування тепло- та гідроізоляції”. Акустичні сигнали при дефектах виду „руйнування гідроізоляції” та „мігруюча вода” мають низький рівень і маскуються зовнішніми акустичними шумами. Однак, застосування перетворення Фур’є дало змогу виділити ці дефекти на фоні шумів та відрізнити їх один від одного. Показано, що для дефекту виду „руйнування гідроізоляції” максимальна спектральна щільність зосереджена в низькочастотній області спектру, а для дефекту виду „мігруюча вода” - у високочастотній. Це зумовлено різкою зміною інформативного параметру при дефекті виду „руйнування гідроізоляції” на мінімальній довжині та більшою протяжністю і плавністю зміни акустичного сигналу для дефекту виду „мігруюча вода”.

На рис. 7 наведено один з отриманих результатів вимірювання температури приповерхневого шару ґрунту на глибині 2 см над тепловою мережею. Результати вимірювання показали, що за зміною температури можна виявити практично всі види дефектів, однак тільки при лабораторних дослідженнях, де відсутні впливи сторонніх джерел тепла.

Розроблена установка дала можливість вперше провести фізичне моделювання процесів, які протікають в підземних теплових мережах, та дослідити зміну інформативних параметрів при різних дефектах. Результати експериментів підтвердили теоретичні викладки щодо вибору комплексу інформативних параметрів як оптимальних для виявлення дефектів. На основі критерію Фішера підтверджено, що встановлені аналітичні залежності для розрахунку значень інформативних параметрів є адекватними реальним процесам при контролі підземних теплових мереж.

Оскільки за зміною вимірних інформативних параметрів вздовж ділянки контролю можна встановити наявність дефекту, проте не можна однозначно ідентифікувати його вид, розроблено метод ідентифікації видів виявлених дефектів у підземних теплових мережах, який базується на порівняльній бальній оцінці кожного виміряного інформативного параметру при різних режимах вимірювання. Встановлення балів здійснювалось на основі порівняння вимірних значень кожного інформативного параметру з розрахованими за аналітичними моделями. Враховуючи те, що на реальному об’єкті параметри середовища, в якому поширюються сигнали, можуть бути нестабільними вздовж ділянки контролю, встановлено діапазон зміни кожного з інформативних параметрів. Для числової оцінки найімовірнішого виду дефекту застосовано наступну бальну оцінку: від 1 балу при мінімальній подібності та до 5 балів для максимальної подібності.

Наявність даних про теплові втрати на контрольованій ділянці та температури теплоносія на вході і на виході подавального та зворотного трубопроводів дало можливість застосувати додаткові бали для дефектів виду „розрив трубопроводу” і „руйнування тепло- та гідроізоляції”. Щоб встановити додаткові бали для дефектів виду „мігруюча вода” та „руйнування гідроізоляції”, використано спектральний аналіз із застосуванням перетворення Фур’є для виміряного акустичного тиску вздовж ділянки контролю.

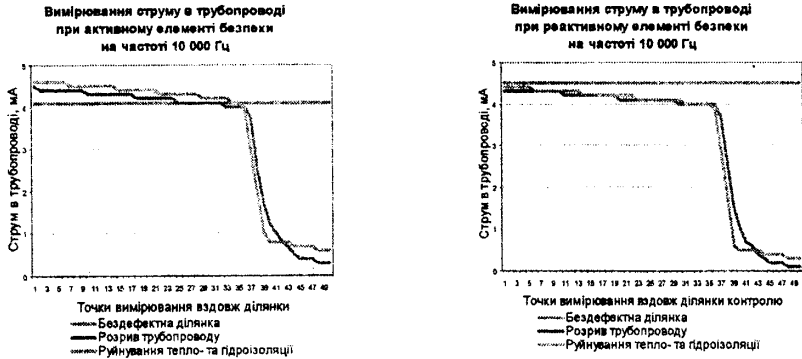


Рис.5. Результати вимірювання струму в стінках трубопроводу



Рис.6. Результати вимірювання акустичного тиску на поверхні ґрунту

Результати вимірювання температури приповерхневого шару ґрунту при температурі навколишнього середовища +3°C та температурі теплоносія в подавальному трубопроводі +50°C, в зворотному +43°C

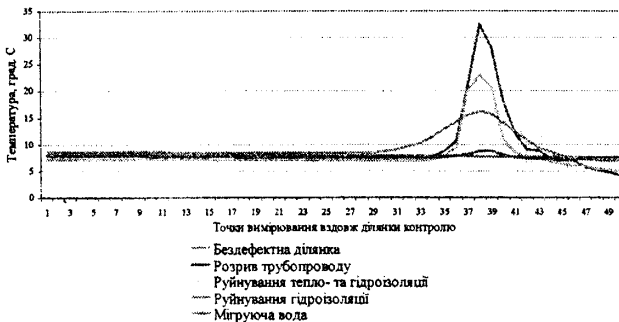


Рис.7. Результати вимірювання температури приповерхневого шару ґрунту над підземною тепловою мережею

За комплексний параметр методу ідентифікації видів дефектів у підземних теплових мережах взято відношення суми набраних балів до максимально-можливої суми балів.

Як підсумок проведених досліджень формується висновок про наявність чи відсутність дефектів, що характеризує технічний стан досліджуваної ділянки теплової мережі.

Для практичної реалізації методу ідентифікації видів дефектів у підземних теплових мережах розроблено програмне забезпечення, за допомогою якого проведено ідентифікацію видів дефектів за даними експериментальних досліджень. Невизначеність методу ідентифікації розрахована за схемою Бернуллі склала 17,9%.

Четвертий розділ присвячений розробленню та промисловій апробації експериментального взірця інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), а також розробленню методики його застосування.

Для проведення вимірювань на діючих теплових мережах розроблено експериментальний взірець ІВС, який призначений для виявлення місць дефектів та ідентифікації їх за видами у теплових мережах з трубопроводами в ППУ-ізоляції, прокладених безканально. ІВС складається з двох основних вузлів – збудження та вимірювального (рис.8).

Вузол збудження призначений для збудження акустичної хвилі у трубопроводі і подачі на нього змінного струму. Вузол збудження містить радіоприймальний пристрій, підсилювач потужності, пристрій акустичного збудження, блок вибору режиму роботи і перетворювач постійної напруги з клемою для приєднання до трубопроводу. Як елемент навантаження застосовано набір прецизійних резисторів та котушок індуктивності.

Вимірювальний вузол призначений для керування вузлом збудження та для вимірювання інформативних параметрів. До складу вимірювального вузла входять канал керування генератором, радіопередавальний пристрій, три вимірювальних канали (по одному на кожен інформативний параметр) та блок запису даних.

Вимірювальний вузол ІВС представляє собою конструкцію, яка складається з переносної штанги і в якій розміщені мікрофони та вимірювальна котушка. На нижньому кінці штанги знаходиться приймальна камера вимірювального мікрофону. На верхньому кінці штанги знаходиться корпус з розміщеними в ньому електронними блоками вимірювального вузла та органами управління.

В корпусі вузла збудження розміщені блок вибору режиму роботи, підсилювач потужності та перетворювач постійної напруги. Радіоприймальний пристрій з додатковою антеною розміщується поза корпусом вузла збудження.

Особливістю ІВС є передача частот контролю від генератора вимірювального вузла до вузла збудження по радіоканалу.

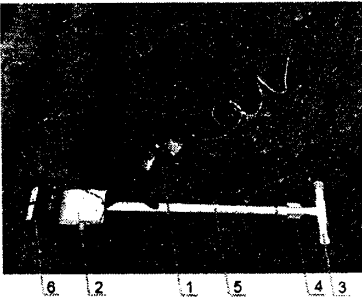
Для проведення вимірювань звукового тиску при значному рівні зовнішнього акустичного шуму у вимірювальному вузлі застосовано два мікрофони (приймальний та компенсаційний), сигнали з яких надходять на диференційний підсилювач, де відбувається подавлення завад. Для додаткового виділення корисного сигналу на фоні завад застосовано Т-подібні резонансні фільтри з фіксованими центральними частотами. Для зменшення впливу акустичних завад

мікрофони підбирались за подібністю амплітудно – частотних характеристик в області частот 0,5 – 4 кГц.

Визначення рівня струму у стінках трубопроводу здійснювалось шляхом застосування циліндричної екранованої котушки індуктивності з феритовим осердям.

Вимірювання температури приповерхневого шару ґрунту проводилось за допомогою термоопору, який занурювався в ґрунт на глибину 5 см.

Проведено метрологічний аналіз розробленої ІВС. Інструментальна невизначеність ІВС склала 8 %. Сумарна невизначеність контролю підземних теплових мереж становить 21,2 %. Отримане значення невизначеності для контролю трубопроводів характеризує достатню для практики вірогідність контролю.



- 1 – вузол збудження, 2 – вимірювальний вузол,
3 – магнітна антена,
4 – камера вимірювального мікрофону,
5 – штанга, 6 – блок запису даних

Рис.8. Загальний вигляд експериментального зрізця ІВС для виявлення місць дефектів та ідентифікації їх за видами у тепломережах з трубопроводами в ППУ-ізоляції

Для методичного забезпечення використання результатів дисертаційної роботи розроблено проект нормативного документу (СОУ), що регламентує методику контролю технічного стану безканальних підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції.

Промислову апробацію ІВС проведено на об'єктах ДМП „Івано-Франківськтеплокомуненерго”, КП „Водотеплосервіс” на території міста Калуш та нафтоперекачувальної станції „Куровичі” філії „Магістральні нафтопроводи „Дружба” ВАТ „Укртранснафта”. На всіх об'єктах було виявлено ділянки з дефектами, які ідентифіковано за видами. Достовірність результатів контролю перевірялась наступним шурфуванням у виявлених місцях імовірного існування дефектів трубопроводів. Результати шурфування підтвердили наявність виявлених ІВС дефектів.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-прикладна задача в галузі приладів і методів неруйнівного контролю - удосконалено методи безконтактного контролю технічного стану підземних теплових мереж безканальної прокладки з трубопроводами в ППУ-ізоляції шляхом дослідження та застосування комплексу інформативних параметрів.

1. Аналіз відомих неруйнівних методів і засобів контролю технічного стану підземних теплових мереж показав, що за рахунок специфічних фізичних характеристик безканально прокладених тепломереж з трубопроводами в

ППУ-ізоляції немає змоги достатньо точно виявляти дефекти та ідентифікувати їх за видами. Обґрунтовано необхідність розроблення нових підходів до контролю технічного стану підземних теплових мереж шляхом удосконалення індукційного та акустичного методів контролю і розроблення методу ідентифікації видів дефектів на основі комплексного застосування інформативних параметрів (струму в стінках трубопроводу, звукового тиску на поверхні ґрунту, температури приповерхневого шару ґрунту).

2. Теоретично обґрунтовано можливість удосконалення індукційного методу контролю теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції шляхом застосування елемента навантаження, що дало змогу розширити діапазон робочих частот та зменшити напругу контролю до безпечного рівня. Отримано залежність акустичного тиску на поверхні ґрунту від інтенсивності акустичного збудження трубопроводу з урахуванням фізичних характеристик середовищ на шляху поширення акустичної хвилі. Це дозволило підвищити ефективність методу акустичного відгуку та дало змогу застосувати його для виявлення дефектів в безканалних підземних теплових мережах з трубопроводами в ППУ-ізоляції. Обґрунтовано доцільність застосування температури приповерхневого шару ґрунту як додаткового інформативного параметру при виявленні дефектів, що дозволило зменшити вплив умов зовнішнього середовища на результати контролю.

3. Розроблено методику та установку для експериментальних досліджень двотрубною підземною тепловою мережі з трубопроводами в ППУ-ізоляції, яка дала змогу провести вимірювання інформативних параметрів при різних видах дефектів та режимах роботи тепломережі. За результатами цих експериментальних досліджень було підтверджено теоретичні висновки щодо вибору комплексу параметрів (струм у стінках трубопроводу, акустичний тиск на поверхні ґрунту та температура приповерхневого шару ґрунту) як оптимальних для виявлення дефектів та встановлено, що отримані аналітичні моделі визначення інформативних параметрів є адекватними реальним процесам контролю.

4. Розроблено метод ідентифікації видів дефектів у підземних теплових мережах на основі порівняльної бальної оцінки вимірюваних та розрахованих за аналітичними моделями інформативних параметрів при різних режимах контролю. Невизначеність методу склала 17,9%, що характеризує достатню для практики вірогідність контролю технічного стану трубопроводів з ППУ-ізоляцією безканалної прокладки.

5. Розроблено та виготовлено експериментальний взірець ІВС для виявлення місць дефектів у трубопроводах з ППУ-ізоляцією безканалної прокладки. За результатами проведеного метрологічного аналізу сумарна невизначеність контролю склала 21,2 %. Розроблено проект стандарту організації України на методику проведення контролю технічного стану підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції. Проведено промислову апробацію цієї системи на об'єктах ДМП „Івано-Франківськтеплокомуненерго”, КП „Водотеплосервіс” на території міста Калуш та нафтоперекачувальної станції „Куровичі” філії „Магістральні нафтопроводи „Дружба” ВАТ „Укртранснафта”, що підтвердило можливість використання її для знаходження та ідентифікації дефектів на діючих теплових мережах з трубопроводами в ППУ-ізоляції.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ващишак І.Р. Методика оцінки теплових втрат підземних теплових мереж [Текст] / І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, В.Д. Миндюк [та ін.] // Нафтогазова енергетика. – 2007. – №2(3). – С. 52-59.
2. Ващишак І.Р. Визначення стану підземних теплових мереж шляхом аналізу їх теплових полів [Текст] / І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, О.М. Карпаш // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – №23. – С. 39-43.
3. Ващишак І.Р. Аналіз методів контролю технічного стану підземних теплових мереж [Текст] / І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, О.М. Карпаш, А.В. Яворський // Нафтогазова енергетика. – 2010. – №2(13). – С. 64-69.
4. Ващишак С.П. Застосування інтелектуальних приладів для визначення місць теплових втрат у мережах теплопостачання [Текст] / С.П. Ващишак, І.Р. Ващишак, С.І. Мельничук // Наукові вісті ПВНЧ „Галицька академія”. – 2010. – №1(17). – С. 83-88.
5. Ващишак І.Р. Розробка установки для дослідження підземних двотрубних теплових мереж з імітацією дефектів [Текст] / І.Р. Ващишак // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Х.: Техніка, 2011. – Вип.101. – С. 199-207. – (Серія «Технічні науки і архітектура»).
6. Ващишак І.Р. Розроблення інформаційно-вимірювальної системи для контролю підземних теплових мереж [Текст] / І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, О.М. Карпаш // Методи та прилади контролю якості. – 2011. – №27. – С. 39-43.
7. Ващишак І.Р. Визначення технічного стану підземних теплових мереж шляхом аналізу їх акустичних характеристик [Текст] / І.Р. Ващишак // Вісник НТУ ХПІ. – 2012. – №41. – С. 86-99. – (Серія «Електроенергетика та вимірювальна техніка»).
8. Ващишак І.Р. Особливості застосування електромагнітного контролю для виявлення дефектів в підземних теплових мережах [Текст] / І.Р. Ващишак // Методи та прилади контролю якості. – 2012. – №28. – С. 61-70.
9. Пат. 72203 Україна, МПК F17D 5/02. Пристрій для виявлення дефектів у трубопроводах підземних теплових мереж / заявники і патентовласники Ващишак І.Р., Ващишак С.П., Карпаш О.М., Райтер П.М., Яворський А.В. – u201201088; заявл. 02.02.2012; опуб. 10.08.2012. – 9 с.
10. Ващишак І.Р. Теоретичні аспекти застосування теплового методу контролю для визначення стану ізоляції підземних теплових мереж [Текст] / І.Р. Ващишак // Неруйнівний контроль та технічна діагностика: 6 Нац. наук.-техн. конф., Київ, 9-12 червня 2009 р.: матер. конф. – Київ, 2009. – С. 235-240.
11. Ващишак І.Р. Методика визначення місць теплових втрат у підземних теплових мережах [Текст] / І.Р. Ващишак // ПРИЛАДОБУДУВАННЯ 2007: стан і перспективи: 6 наук.-техн. конф., Київ, 24-25 квітня 2007 р.: зб. тез доп. – Київ, 2007. – С. 287.
12. Ващишак І.Р. Технологія проведення неруйнівного контролю підземних теплових мереж [Текст] / І.Р. Ващишак // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і

нафтогазопромислового обладнання: 5 Міжнар. наук.-техн. конф., Івано-Франківськ, 2-5 грудня 2008 р.: зб. тез доп. – Івано-Франківськ, 2008. – С. 107-108.

13. Ващишак І.Р. Визначення стану підземних теплових мереж шляхом аналізу їх теплових полів [Текст] / І.Р. Ващишак, О.М. Карпаш // Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання: 2 наук.-практ. конф. студентів і молодих учених, Івано-Франківськ, 25-26 листопада 2009 р.: зб. тез доп. – Івано-Франківськ, 2009. – С. 22-23.

14. Ващишак І.Р. Методика проведення неруйнівного контролю підземних теплових мереж [Текст] / І.Р. Ващишак, О.М. Карпаш // ПРИЛАДОБУДУВАННЯ 2010: стан і перспективи: 9 Міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 27-28 квітня 2010 р.: зб. тез доп. – Київ, 2010. – С. 218-219.

15. Ващишак І.Р. Розробка структурно-слідчої схеми параметрів діагностики підземних теплових мереж [Текст] / І.Р. Ващишак // Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів ЛЕОТЕСТ-2011: 16 Міжнар. наук.-техн. конф., Славське Львівської області, 21-26 лютого 2011 р.: матер. конф. - Славське Львівської області, 2011. – С. 181-183.

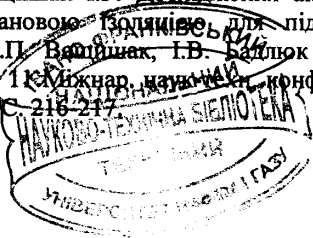
16. Ващишак І.Р. Дослідна установка для контролю технічного стану підземної теплової мережі [Текст] / І.Р. Ващишак // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах ВКДТС-2011: 1 Міжнар. наук. конф. пам'яті проф. Володимира Поджаренка, Вінниця, 18-20 жовтня 2011 р.: зб. тез доп. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – С. 89.

17. Ващишак С.П. Особливості застосування акустичного контролю при визначенні дефектів підземних теплових мереж з пінополіуретановою ізоляцією [Текст] / С.П. Ващишак, І.Р. Ващишак // „Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання”: 6 Міжнар. наук.-техн. конф., м. Івано-Франківськ, 29 листопада – 2 грудня 2011 р.: зб. тез доп. – Івано-Франківськ, 2011. – С. 267-271.

18. Ващишак І.Р. Удосконалення акустичного та електромагнітного методів неруйнівного контролю підземних теплових мереж з трубопроводами в ППУ ізоляції [Текст] / І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, О.М. Карпаш // Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів ЛЕОТЕСТ-2012: 17 Міжнар. наук.-техн. конф., Славське Львівської області, 20-25 лютого 2012 р.: матер. конф. - Славське Львівської області, 2012. – С. 54-57.

19. Ващишак І.Р. Розробка проекту стандарту України на методику проведення контролю технічного стану підземних теплових мереж [Текст] / І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, Ю.М. Бурда, А.В. Яворський // ПРИЛАДОБУДУВАННЯ 2012: стан і перспективи: 11 Міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 24-25 квітня 2012 р.: зб. тез доп. – Київ, 2012. – С. 217-218.

20. Ващишак І.Р. Дослідження акустичних характеристик трубопроводів з пінополіуретановою ізоляцією для підземних теплових мереж [Текст] / І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, І.В. Баблюк // ПРИЛАДОБУДУВАННЯ 2012: стан і перспективи: 11 Міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 24-25 квітня 2012 р.: зб. тез доп. – Київ, 2012. – С. 218-219.



21. Ващишак І.Р. Виявлення дефектів у підземних теплових мережах на території нафтогазотранспортних об'єктів [Текст] / І.Р. Ващишак // ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ТРАНСПОРТУВАННЯ НАФТИ І ГАЗУ 2012: Міжнар. наук.-техн. конф., Івано-Франківськ, 15-18 травня 2012 р.: матер. конф. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 277-279.

22. Ващишак І.Р. Методика проведення досліджень технічного стану підземних теплових мереж на експериментальній установці [Текст] / І.Р. Ващишак // “NDT days 2012”: Міжнарод. науч.-техн. конф., Созополь, Болгарія, 11-15 червня 2012 г.: трудові конф. - Созополь, Болгарія, 2012. – С.273-276.

АНОТАЦІЯ

Ващишак І.Р. Удосконалення методів безконтактного контролю стану підземних теплових мереж. – 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, 2012.

Дисертація присвячена питанню контролю технічного стану підземних теплових мереж безканальної прокладки з пінополіуретановою ізоляцією.

Проведено класифікацію видів основних дефектів підземних теплових мереж з трубопроводами в пінополіуретановій ізоляції. Теоретично досліджено залежність струму у стінках трубопроводу від зміни значень діагностичних ознак, що зумовлені наявністю дефекту. Розроблено аналітичну модель поширення збуджених акустичних коливань від трубопроводу до поверхні ґрунту. Отримано вираз залежності акустичного тиску на поверхні ґрунту від інтенсивності акустичного збудження трубопроводу, яка враховує акустичні характеристики середовищ на шляху поширення акустичної хвилі. Досліджено залежності теплових втрат тепломережі від теплових характеристик ізоляційного покриття трубопроводу та ґрунтових запасок. Розроблено та виготовлено установку для експериментальних досліджень двошарової підземної теплової мережі з трубопроводами в пінополіуретановій ізоляції з різними видами дефектів. Розроблено метод ідентифікації видів дефектів підземних теплових мереж з трубопроводами в пінополіуретановій ізоляції за трьома інформативними параметрами (струмом у стінках трубопроводу, акустичним тиском на поверхні ґрунту, температурою приповерхневого шару ґрунту над тепломережею). Розроблено експериментальний зріз інформаційно-вимірювальної системи для виявлення дефектів у безканальних підземних теплових мережах. Розроблено проект нормативного документу (СОУ) на методику проведення контролю технічного стану підземних теплових мереж з трубопроводами в пінополіуретановій ізоляції.

Ключові слова: тепла мережа, пінополіуретанова ізоляція, дефект, інформативні параметри, акустичний тиск, струм у стінках трубопроводу, температура, установка, ідентифікація.

АННОТАЦІЯ

Ващишак І.Р. Усовершенствование методов бесконтактного контроля состояния подземных тепловых сетей. – 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, 2012.

Диссертация посвящена вопросам контроля технического состояния подземных тепловых сетей бесканальной прокладки с пенополиуретановой изоляцией.

Опыт эксплуатации бесканальных подземных тепловых сетей с трубопроводами в пенополиуретановой изоляции показал, что в них возникают дефекты, часть из которых из-за наличия многослойной структуры есть специфической, несвойственной сетям с трубопроводами в минераловатной изоляции. При этом, такие дефекты влияют на работоспособность трубопроводов. Существующие методы неразрушающего контроля из-за физических характеристик трубопроводов с пенополиуретановой изоляцией не дают возможности определять большинство дефектов и идентифицировать их по видам, а значительная часть информационных параметров контролируется путем прямого доступа к трубопроводу. Существующая теоретическая база не дает возможности установить четкую взаимосвязь между видом дефекта и изменением информационных параметров. Достоверная информация о наличии дефектов подземных тепловых сетей является очень важным фактором для обеспечения их безаварийной работы и планирования ремонтов. Поэтому проблема определения технического состояния тепловых сетей является актуальной задачей.

Предложен метод идентификации вида дефекта подземных тепловых сетей на основе комплексного использования трех информационных параметров (тока в стенках трубопровода, акустического давления на поверхности грунта, температуры поверхностного слоя грунта над тепловой сетью), полученных индукционным, микрофонным и тепловым контактными методами контроля.

Сущность усовершенствования индукционного метода контроля подземных тепловых сетей состоит в применении элемента нагрузки (набора резисторов и катушек индуктивности), который дает возможность расширить диапазон рабочих частот и уменьшить напряжения при контроле до безопасного уровня. Исследовано зависимость тока в стенках трубопровода от изменения значений диагностических признаков, которые обусловлены наличием дефекта.

Сущность усовершенствования микрофонного метода контроля подземных тепловых сетей состоит в повышении эффективности контроля путем использованием акустического возбуждения трубопровода. Получена аналитическая модель распространения возбужденных акустических волн от металлического трубопровода через слои его изоляций и засыпок к поверхности грунта. Получено аналитическое выражение зависимости акустического давления на поверхности грунта от интенсивности акустического возбуждения трубопровода, которое учитывает акустические характеристики пройденных акустической волной сред.

Особенность использования теплового метода контроля подземных тепловых сетей состоит в уменьшении влияния температуры внешней среды на результаты измерений путем контактного измерения температуры грунта в приповерхностном слое. Исследовано зависимости тепловых потерь теплосети от тепловых характеристик изоляционного покрытия трубопровода и грунтовых засыпок.

Разработана и изготовлена установка для экспериментальных исследований бесканальной двухтрубной подземной тепловой сети с трубопроводами в пенополиуретановой изоляции с различными видами дефектов. Разработана методика проведения экспериментальных исследований информационных параметров при различных режимах работы теплосети и видах дефектов.

Разработан метод идентификации видов дефектов подземных тепловых сетей с трубопроводами в пенополиуретановой изоляции, который состоит в обобщении полученных результатов измерения трех информационных параметров в комплексный параметр путем их бальных оценок.

Разработан экспериментальный образец информационно-измерительной системы для определения мест дефектов в бесканальных подземных тепловых сетях. Рассчитана суммарная неопределенность контроля, которая составляет 21,2%.

Разработан проект нормативного документа на методику проведения контроля технического состояния подземных тепловых сетей с трубопроводами в пенополиуретановой изоляции.

Ключевые слова: тепловая сеть, пенополиуретановая изоляция, дефект, информативные параметры, акустическое давление, ток в стенках трубопровода, температура, установка, идентификация.

ABSTRACT

Vashchysyak I.R. The improvement of noncontact methods of underground heat networks condition inspection. – Manuscript.

Dissertation on competition of scientific degree of the candidate of engineering sciences at speciality 05.11.13 – Instruments and methods of control and composition of material determination. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2012.

Dissertation is devoted to the problem of technical state inspection of underground trenchless heat networks with urethane foam insulated pipes.

The classification of main types of underground heat networks defects with urethane foam insulated pipes is performed. It is theoretically examined the pipeline wall ground current dependence on diagnostic indicators changes that caused by the defects. The mathematical model of excited acoustic vibrations propagation from pipeline to the ground surface is developed. It is obtained ground surface acoustic pressure dependence on level of pipeline's acoustic excitation that considers acoustic properties of environments on the way of acoustic wave propagation. Heat network's thermal losses dependencies on thermal properties of insulation coating of pipeline and cover materials is examined. The unit for experimental research of double line underground heat network with urethane foam insulated pipelines with different defects is developed and produced. It is developed an identification method of defect types of underground heat network using three informative parameters (current in pipeline walls, acoustic pressure, ground current, and temperature of near-surface soil over heat network). The prototype of information and measuring system for defects location detection in trenchless underground heat networks is developed. It is drafted the normative document on inspection technique of technical condition of underground heat networks with urethane foam insulated pipelines.

Key words: heat network, urethane foam insulation, defect, informative parameters, acoustic pressure, ground current, temperature, unit, identification.