

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Кухарев Юрій Олександрович

УДК 620.179

**БЕЗКООНТАКТНІ ТЕПЛОВІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ
ТРУБОПРОВОДІВ ТА ДЕФЕКТІВ В НИХ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю та
визначення складу речовин

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти та науки України, м. Харків

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Стороженко Володимир Олександрович, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри фізики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Ігуменцев Євген Олександрович,

Українська інженерно – педагогічна академія, професор кафедри систем управління та автоматизації промислових установок

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Порєв Володимир Андрійович,

Національний технічний університет "Київський політехнічний інститут", професор кафедри виробництва приладів

Провідна установа: Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, м. Київ.

Захист відбудеться " 3 " жовтня 2002 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.64.050.09 в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий " 2 " вересня 2002 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Б.М. Горкунов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з перспективних методів контролю трубопроводів є тепловий неруйнівний контроль (ТНК). У порівнянні з іншими методами ТНК має ряд переваг, що визначають інтерес до нього. До них відноситься дистанційність, безпека, висока продуктивність. Трубопровід, що пролягає в ґрунті, при транспортуванні по ньому речовини з температурою відмінної від температури ґрунту є джерелом тепла і створює на поверхні ґрунту температурну аномалію, яка реєструється спеціальними приладами (тепловізорами, радіометрами). Багато дефектів у трубопроводах (витоки, засмічення, порушення теплоізоляції) також є додатковими джерелами тепла, що створюють додаткові температурні перепади. Використання спеціальних методів аналізу температурних полів може дозволити розшифрувати внутрішню структуру ОК, ідентифікувати теплові джерела в ньому, а також визначити їхні характеристики і зв'язати з характеристиками ОК. Для цього необхідна наявність теплофізичної моделі ОК (трубопроводу з дефектами), що адекватно відображає теплофізичні процеси в ньому. Також виникає питання про вибір і розробку методик для аналізу розробленої моделі. Аналіз сучасного стану методу теплового контролю у науковому аспекті стосовно трубопроводів дозволяє сформулювати наступні невіршені задачі:

- не визначене коло задач контролю трубопроводів, що можуть бути вирішені тепловими методами;
- не розроблені у достатній мірі адекватні теплофізичні моделі занурених трубопроводів з дефектами різних типів;
- відсутні алгоритми визначення параметрів трубопроводу за результатами вимірювань температури поверхні ґрунту над місцем його залягання;
- не здійснена оцінка чутливості ТНК к визначенню тих чи інших параметрів трубопроводу в умовах впливу оточуючого середовища;
- практично немає методик для розрахунку параметрів дефектів в трубопроводах в реальному часі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно з тематичним планом науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт ХНУРЕ - тема 112-1 згідно з наказом ректора №2кн від 06.01.2000 р., договором №2/1517-97 згідно з наказом Міністерства освіти та науки України №102 від 23.01.97 та договором №00-32 від 19.07.2000 р.

Мета і задачі досліджень.

Метою роботи є розробка методів теплової діагностики трубопроводів, а також створення пакета прикладних програм для практичного використання при аналізі даних теплового контролю.

Для досягнення зазначеної мети в дисертації вирішені наступні задачі наукового характеру:

- побудова теплофізичних моделей бездефектного трубопроводу і трубопроводу з можливими дефектами;
- вибір і розробка методів аналізу побудованої моделі, аналіз факторів, які впливають на формування температурного розподілу на поверхні ґрунту;
- розробка методів заповнення відсутніх апріорних даних;
- аналіз впливу факторів оточуючого середовища та оптимізація процедур для зниження цього впливу;
- створення алгоритмів розшифровки даних теплового контролю трубопроводів.

До числа задач прикладного характеру, що розглянуті в роботі відносяться:

- розробка практичних процедур теплового контролю трубопроводів і їхня оптимізація;
- створення методик і пакета прикладних програм для рішення прямих і зворотних задач стаціонарної теплопровідності, що лежать в основі теплової діагностики;
- експериментальна перевірка розроблених методик на реальних об'єктах;
- розробка практичних рекомендацій для проведення теплового контролю трубопроводів
- побудова довідкових номограм для наступного використання на практиці.

Об'єкт дослідження - процес одержання аналітичних співвідношень, на основі яких створено безконтактний тепловий метод виявлення трубопроводів та дефектів в них.

Предмет дослідження - магістральні нафта- і газопроводи та трубопроводи комунальних мереж.

Методи дослідження. Чисельні методи, інтегральне та диференціальне числення, теорія потенціалу для рішення стаціонарних та нестаціонарних задач теплопровідності, теорія похибок, теорія експерименту, математична статистика для обробки результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів:

- розроблені теплофізичні моделі об'єктів теплового контролю, що враховують складні граничні умови на поверхні об'єкта й адекватно відображають реальні теплові процеси, що протікають в об'єктах контролю;
- проведена оцінка впливу різних факторів на ефективність теплового контролю трубопроводів і виявлені найбільш сприятливі умови його проведення;
- розроблені методи рішення зворотних задач стаціонарної теплопровідності на основі теорії потенціалів, що забезпечило проведення контролю в реальному масштабі часу і підвищило його точність;
- розглянута можливість використання спектрального аналізу термограмм для підвищення імовірності виявлення й ідентифікації дефектів у складних умовах проведення контролю;

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- розробці алгоритмів рішення прямих і зворотних задач стаціонарної і нестаціонарної теплопровідності стосовно до трубопроводів;

- створенні методики проведення й оптимізації теплового контролю трубопроводів;
- визначені чутливості і границь застосування розроблених методик;
- створенні пакета прикладних програм для моделювання теплових процесів в об'єктах контролю, рішення прямих задач і зворотних задач теплопровідності, що лежать в основі теплового контролю трубопроводів;
- побудові довідкових номограм чутливості теплового контролю трубопроводів;

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні аналітичного огляду стану діагностики трубопроводів, створенні нових і вдосконаленні існуючих моделей і методів теплової діагностики трубопроводів, що дозволяють розширити області їхнього застосування, проведенні аналізу моделей та побудові на їх основі довідкових таблиць для проведення теплового контролю трубопроводів, у розробці алгоритмів і програм обробки результатів контролю.

Апробація результатів дисертації. Основні результати доповідалися й обговорювалися на наступних конференціях і семінарах:

- міжнародна науково-технічна конференція “20-летие Старооскольского филиала МИСиС ”, 15-16 вересня 1999 р., Старий Оскол;
- 5-а міжнародна науково-технічна конференція “Теория и техника передачи, приема и обработки информации”, 27-30 вересня 1999р., Харків;
- 3-я міжнародна науково-технічна конференція “Неруйнівний контроль та технічна діагностика”, 22-25 квітня 2000 р., Дніпропетровськ;
- 7-я міжнародна науково-технічна конференція "Леотест – 2002. Неруйнівний контроль конструкційних та функціональних матеріалів", 18-23 лютого 2002 р., Львів.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць, у тому числі 4 статті, 4 матеріалів у працях науково-технічних конференцій та збірках наукових праць.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з введення, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 141 сторінку: список літератури містить 65 найменувань (8 стор.), ілюстрацій 22 (12 стор.), таблиць 4 (2 стор.), 5 додатків (11 стор.)

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступній частині розкрита суттєвість наукової задачі, обґрунтована актуальність її розв'язання, показано зв'язок роботи із науковими планами і темами, визначені мета і завдання досліджень, сформульовані наукова новизна і практична значимість отриманих результатів, наведені дані про публікації автора та апробацію результатів дисертації.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан методів контролю трубопроводів і наведена їх

стисла характеристика. Особлива увага приділена тепловому методу контролю, як методу, що швидко розвивається і має великі перспективи. Показано, що розвиток теплового методу неможливий без підвищення його інформативності. Тобто потрібен поступовий перехід від теплової дефектоскопії та дефектометрії до томографії та діагностики, як напрямків, що дозволяють отримати найбільш повну інформацію про ОК та його працездатність. Обробку отриманої внаслідок теплового обстеження інформації неможливо проводити без відповідних теплофізичних моделей та методів їх аналізу. Огляд сучасного стану теплового контролю показав, що найбільше використання в ньому знайшли одномірні та двомірні теплофізичні моделі, які описують досить прості об'єкти. Причому більшість з цих моделей є чисельними і внаслідок цього мають обмежену швидкодію. Існуючі аналітичні моделі можуть застосовуватись тільки для певного обмеженого кола простих об'єктів. Також в аналітичних моделях в багатьох випадках похибка може сягати 50 % внаслідок спрощень в них. Крім того аналіз джерел показав, що існуючі в тепловому контролі теплофізичні моделі не можуть бути використаними для трубопроводів тому, що побудовані для інших класів об'єктів.

Проведений аналіз показав, що для рішення задач теплової діагностики трубопроводів перспективним являється поєднання аналітичних і чисельних методів рішення задач теплопровідності. Це може дозволить уникнути недоліків властивих кожному з цих методів зокрема. В цих методах теплофізичні процеси, що проходять в ОК, описуються точними аналітичними рівняннями, але їх рішення знаходиться чисельними методами, за допомогою обчислювальних машин. Зроблено висновок, що для підвищення ефективності теплових методів контролю (підвищення чутливості, швидкодії, зменшення похибок і т.п.) необхідна розробка нових методів і алгоритмів теплової діагностики трубопроводів, а також реалізація цих алгоритмів у вигляді закінчених програмних продуктів.

У другому розділі розглянуті питання побудови теплофізичної моделі трубопроводу з дефектами та без, прокладеного в ґрунті. Для рішення цієї задачі проведений аналіз можливостей застосування уже відомих моделей теплового неруйнівного контролю для рішення задач контролю трубопроводів. При цьому враховувалося, що трубопровід являє собою об'ємне джерело тепла, розташоване біля поверхні нескінченного півпростору, на границі якого існують складні граничні умови, що змінюються в часі. У випадку появи дефектів з'являються додаткові джерела тепла складної форми в обсязі півпростору. Встановлено, що для побудови теплофізичної моделі потрібно розглядати:

- обмежений тривимірний півпростір;
- наявність джерел тепла усередині цього півпростору, і зовнішнього потоку тепла на поверхні області;
- складні граничні умови, що змінюються в часі.

У зв'язку з цим була розроблена теплофізична модель, що забезпечує:

- розгляд тривимірної області з досить великими розмірами, при яких на границях впливом теплового потоку трубопроводу можна зневажити і вважати всі границі області, крім верхньої, теплоізованими;
- введення на верхній границі області граничних умов за законом Ньютона, з температурою навколишнього середовища і потоком сонячної радіації, що змінюються з часом;
- заміну дефектів трубопроводу, що мають складну геометричну конфігурацію крапковими чи сферичними еквівалентними джерелами тепла.

Заснована на зазначених припущеннях теплофізична модель об'єкта контролю представлена на рис.1.

Рис.1 Теплофізична модель трубопроводу з дефектом типу "витік" з урахуванням прийнятих спрощень.

Для аналізу моделі запропоновано використовувати чисельний метод рішення нестационарного рівняння теплопровідності Фур'є, відомий як метод кінцевих різниць. За допомогою цього методу проводилося чисельне моделювання для джерел тепла довільної форми розташованими усередині області (трубопровід і дефекти) і на верхній поверхні розглянутої області (потік сонячної радіації).

Аналіз моделі за допомогою розробленого методу полягав у розрахунку надлишкового температурного поля на поверхні ґрунту як функції:

- параметрів самого трубопроводу (глибини залягання L , діаметра трубопроводу $D_{тр}$ і температури речовини $T_{тр}$);
- параметрів передбачуваного дефекту (місця розташування $x_{деф}$, $U_{деф}$, $Z_{деф}$ і потужності витоку тепла $Q_{деф}$);
- параметрів ґрунту (теплопровідності λ) і поверхні (коефіцієнта тепловіддачі поверхні α).

Встановлено, що перепад температури на поверхні ґрунту над трубопроводом, який обумовлено протіканням речовини по ньому, може становити декілька градусів, а температурна аномалія, зумовлена витоком речовини у 2-3 рази більше, що є достатнім для виявлення місць залягання трубопроводів і дефектів у них, а також визначення їхніх параметрів.

У загальному випадку на поверхні ґрунту температура повітря ($T_{п}$) і потужність сонячного випромінювання ($Q_{п}$) не є константами. Якщо вважати шар атмосфери, що знаходиться біля поверхні ґрунту, рівномірно нагрітим можна зневажити конвекційним переміщенням. Відомо, що

добові і сезонні коливання температури мають гармонійний закон і збуджують температурні хвилі, що поширюються від поверхні ґрунту в глибину.

З огляду на це припущення граничні умови на поверхні ґрунту можна представити у наступному вигляді:

$$Q_n + \lambda \times \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha (T_n - T_g), \quad (1)$$

$$\text{де } Q_n = Q_{\max} \times \sin(2 \times A_{\max} \times \frac{t}{t_n} + t_{nc});$$

$$T_B = \bar{T}_B + \Delta T \times \sin(\frac{\pi t}{12} + t_n);$$

T_B - середньодобова температура повітря; ΔT - максимальне відхилення від середньодобової температури повітря; t - час доби ($0 < t < 24$); t_n - початкова фаза коливання; Q_{\max} - максимальна потужність сонячного випромінювання, що поглинається, поверхнею Землі; A_{\max} - максимальний кут підйому Сонця над обрієм; t_n - тривалість світлового дня; t_{nc} - початкова фаза коливання.

В третьому розділі безпосередньо розглянуті питання вирішення задач теплової діагностики трубопроводів, тобто визначення параметрів трубопроводу і дефектів в ньому на підставі отриманого теплового розподілу на поверхні ґрунту та деяких апріорних даних. Для вирішення цієї задачі був розроблений числено-аналітичний метод аналізу даних теплового контролю заснований на застосуванні теорії потенціалів. При використанні числено-аналітичного методу теплофізична модель об'єкту контролю дещо видозмінюється.

По-перше, не потрібне завдання області кінцевих розмірів, по-друге, трубопровід і дефекти в ньому представляються у вигляді крапкових еквівалентних джерел тепла.

Для двовимірного випадку аналітичне вираження, що зв'язує температуру на поверхні ґрунту з параметрами ґрунту трубопроводу і можливих дефектів, має такий вигляд:

$$f(r) = \frac{1}{\pi\lambda} \int_D \psi_0(r - \rho) \int_C \alpha(T(r) - T_B) \times dS(\rho) dA(\rho) - \frac{1}{2\pi\lambda} \times \int_C \psi_0(r - \rho) \alpha \times (T(r) - T) dS(\rho) - T(r). \quad (2)$$

Аналогічно для тривимірного випадку:

$$f(r) = \frac{1}{2\pi\lambda} \int_V \varphi_0(r-\rho) \int_S \alpha(T(r)-T_g) \times dS(\rho) dV(\rho) - \frac{1}{4\pi\lambda} \int_S \varphi_0(r-\rho) \alpha \times \\ \times (T(r)-T_g) dS(\rho) - T(r), \quad (3)$$

де $\varphi_0(r-\rho) = \frac{1}{|r-\rho|}$; V - трьохвимір на область; S - двовимір на область.

При використанні виразів (2) (3) значення інтегралів знайти аналітично важко, і вони визначаються приблизними методами, а рішення зворотної задачі теплопровідності зводиться до мінімізації функціонала $f(r)$. При цьому вдається скоротити обсяг необхідних обчислень порівняно з чисельними методами у сотні разів. Що у свою чергу дає можливість при тій же потужності обчислювальних машин вирішувати одну чи декілька з наступних задач:

- прискорення процедури обчислення;
- підвищення точності одержуваних результатів за рахунок збільшення числа осередків сітки при чисельному інтегруванні;
- варіювати при рішенні зворотних задач теплопровідності більшу кількість параметрів.

У роботі також показана можливість розкладання отриманих аналітичних функцій, що описують розподіл температури на поверхні ґрунту над трубопроводом, у ряд Фур'є з наступним проведенням спектрального аналізу. Аналіз спектра, що відповідає різного роду дефектам, дає можливість з більшою вірогідністю виявляти й ідентифікувати їх, особливо під час впливу різних перешкод.

Слід зауважити, що розроблений метод не дозволяє задавати зміну граничних умов, а також аналізувати розвиток теплового поля над дефектом у часі. Таким чином, розроблені моделі і запропоновані методи їхнього аналізу по суті є взаємодоповнюючими. Вибір методу для аналізу залежить від конкретних умов навколишнього середовища і вимог до проведення теплового контролю.

Після локалізації місця дефекту і визначення його природи, у багатьох випадках важливо знати інші параметри дефекту. У випадку дефекту типу "витік" таким параметром може бути кількість речовини, що витікає з трубопроводу.

Після виділення теплового сліду дефекту, обсяг дефекту можна визначити за наступною формулою:

$$V = \frac{\int_S \alpha \times (T(x,y) - T_B) \times dS}{c \times \rho \times (T_{mp} - T_{zp})} \quad (4)$$

де $T(x,y)$ – температура поверхні ґрунту над витоком; T_{zp} – середня температура ґрунту; c – теплоємність ґрунту; ρ – щільність ґрунту.

Вираз (4) застосовується тільки у випадку, якщо весь процес теплообміну відбувається усередині

грунту.

Четвертий розділ присвячено питанням розробки методик та алгоритмів проведення теплового обстеження трубопроводів, а також їх програмній реалізації.

На підставі проведених досліджень було розроблено методику та запропоновано алгоритм розшифровки даних ТНК трубопроводів. Який має наступний вигляд:

- одержання термограми об'єкту (вимір температурного поля на поверхні ґрунту над трубопроводом);
- аналіз термограм з метою виявлення температурних аномалій;
- визначення попередніх координат розташування дефекту $X_{\text{деф}}$, $U_{\text{деф}}$, $Z_{\text{деф}}$ по максимуму температурного перепаду на поверхні ґрунту;
- виділення частини термограми, що підлягає аналізу;
- визначення параметрів бездефектного трубопроводу: діаметру із експлуатаційної документації, глибини знаходження трубопроводу і теплової потужності, що виділяється трубопроводом;
- знаходження потужності тепла, що виділяється витокком, шляхом ітераційного вирішення прямої задачі;
- розрахунок параметрів дефекту з використанням отриманих даних.

Цей алгоритм було реалізовано у вигляді пакету комп'ютерних програм "Контроль-Т", який призначений для моделювання теплових процесів у різних об'єктах, обробки послідовностей термограм, визначення параметрів наявних дефектів і, таким чином, рішення задач теплового контролю. У комплекс увійшли три програми призначені для рішення різних задач теплового контролю трубопроводів.

Програма "Карат", що була розроблена для цього комплексу може бути використана для оцифровки термограм отриманих із твердих носіїв інформації. Ще одним її достоїнством є можливість вибору типу колірної температурної шкали, що дає можливість використовувати програму для одержання даних з різних типів тепловізорів.

В програмах "Трубопровід" і "Кріт" реалізовані розроблені методи і алгоритми розглянуті в розділах 2,3. Ці програми призначені для проведенні досліджень процесів теплопередачі, рішенні прямих і зворотних задач нестационарної теплопровідності, виконанні розрахунків теплових режимів не тільки трубопроводів, а різних об'єктів.

У п'ятому розділі проведена оцінка похибки, що виникає під час проведення теплового контролю трубопроводів.

У загальному випадку погрішність визначення перепаду температури на поверхні ґрунту $\delta\Delta T$ складається з двох складових - інструментальної ($\delta\Delta T$)_{ін} і методичної ($\delta\Delta T$)_м:

$$\delta\Delta T = (\delta\Delta T)_{\text{ін}} + (\delta\Delta T)_{\text{м}} \quad (5)$$

Значення інструментальної погрішності може бути отримане з технічних даних приладу, яким проводиться вимір температури. Для сучасних тепловізорів і пірометрів ця погрішність складає близько 0.02°C (Micron-102, ThermaCAM 3000) і її можна не враховувати.

Для оцінки методичної погрішності, з огляду на велику кількість факторів, що впливають, приймемо наступне допущення: усі фактори незалежно впливають на температурне поле на поверхні ґрунту над трубопроводом. Це дозволяє розглянути вплив кожного фактора окремо, і визначити його внесок у результуюче значення ΔT . Також будемо вважати, що зміною температури навколишнього середовища і потужності сонячного випромінювання під час проведення вимірів можна зневажати.

Таким чином температурний перепад на поверхні ґрунту в основному залежить від трьох факторів

$$\Delta T = f(T_{\text{тр}}, a, \lambda). \quad (6)$$

Методична похибка при прийнятих допущеннях може бути визначена по формулі:

$$\delta(\Delta T) = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial \lambda} \Delta \lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial T_{\text{тр}}} \Delta T_{\text{тр}}\right)^2} \quad (7)$$

Для визначення похідних, що входять до формули (7), отримані аналітичні вирази залежності перепаду температури ΔT від перелічених факторів. Для цього був використаний комп'ютерний експеримент. Для

розрахунку температурного розподілу на поверхні ґрунту використовувалася описана в розділі 4 комп'ютерна програма "Трубопровід".

Для завдання функцій використовувалася лінійна апроксимація, тобто функція виду:

$$\Delta T = ax + b,$$

де x - фактор, що впливає; a , b - коефіцієнти апроксимації.

З урахуванням отриманих коефіцієнтів формула для обчислення похибки приймає наступний вигляд:

$$\delta(\Delta T) = \sqrt{(-0.65 \times \Delta a)^2 + (2.3 \times \Delta \lambda)^2 + (0.1 \times \Delta T_{\text{тр}})^2} \quad (8)$$

Кінцевою задачею контролю трубопроводів є не визначення температурного розподілу ΔT , а використання цієї обмірюваної величини для визначення параметрів трубопроводу і дефекту в ньому. Для оцінки погрішності рішення цієї зворотної задачі визначимо вплив глибини знаходження трубопроводу і потужності витоку на перепад температури на поверхні ґрунту.

Кінцеві формули для оцінки похибки визначення глибини знаходження трубопроводу і потужності:

$$\Delta L_{mp} = \frac{L_{mp} \sqrt{(-0.65 \times \Delta\alpha)^2 + (2.3 \times \Delta\lambda)^2 + (0.1 \times \Delta T_{mp})^2}}{7.24} \quad (9)$$

$$\Delta Q_{def} = \frac{\sqrt{(-0.65 \times \Delta\alpha)^2 + (2.3 \times \Delta\lambda)^2 + (0.1 \times \Delta T_{mp})^2}}{7.138 \times 10^{-4} \times Q_{def}}. \quad (10)$$

В розділі також зазначено, що за певних умов ділянки трубопроводу з різними параметрами (і можливо наявністю дефектів) на поверхні ґрунту дадуть схожі температурні розподіли, тобто дефект не буде виявлений, буде виявлений помилково чи невірно ідентифікований. Можна також припустити, що найбільше часто причиною помилок є наявність локальних чи розподілених неоднорідностей ґрунту. Тобто локальна чи протяжна зміна властивостей ґрунту і його поверхні може викликати температурний перепад, що буде ідентифікована як наявність дефекту. Для подолання цих труднощів

запропоновано кілька шляхів: по-перше проводити паралельно відеозйомку контрольованої ділянки земної поверхні (це дозволяє виявити неоднорідність поверхні ґрунту, що стала причиною аномалії); по-друге використовувати комбінацію різних методів контролю для виявлення природи виявленої аномалії; по-третє використовувати не тільки максимальний перепад температури на поверхні ґрунту, але і форму температурної аномалії, її розвиток з часом і інші параметри вимірюваного температурного розподілу.

У шостому розділі описана практична реалізація проведених наукових досліджень. Для цього було проведено виміри температурних розподілів на реальному газопроводом на нафтогазовому промислі пірометром Micron-102M. В результаті вимірів отримували термопрофіль на поверхні ґрунту перпендикулярно до осі трубопроводу. Погодні умови залишалися стабільними на протязі семи днів до початку вимірів, тому температурне поле на поверхні ґрунту можна вважати стаціонарним. Результати вимірів температурних розподілів на поверхні ґрунту над трубопроводом, що були проведені через 10 м вздовж осі трубопроводу представлені на рис.2.

Рис.2 Результати вимірів температурних розподілів над трубопроводом нафтогазового промислу.

Збіг розрахункового і експериментального термопрофілей оцінювалося по середньоквадратичному відхиленню, що склало 18%. Як причину погрішності можна припустити неточність завдання параметрів ґрунту.

Далі на підставі отриманих даних зважувалася зворотна задача для визначення параметрів бездефектного трубопроводу при погодних умовах, що змінюються. У зв'язку зі складністю одержання реальних даних, добова зміна зовнішніх умов і наявність витоку рідких продуктів моделювалася за допомогою комп'ютерного експерименту.

Результати рішення зворотної задачі наведені в таблиці 1.

Аналіз отриманих у ході досліджень даних дозволив виявити умови найбільш сприятливі для проведення теплового контролю трубопроводів. Умови проведення ТНК трубопроводів повинні задовольняти двом основним вимогам: забезпечувати максимальний температурний контраст на поверхні ґрунту і виключати вплив зміни зовнішніх факторів на результати аналізу даних. Визначено, що найбільш сприятливими умовами для проведення теплового контролю є ранній ранок, безвітряна погода, вологий ґрунт (рання весна, пізня осінь, або дощ), мінімальні добові коливання температури, відсутність трав'яного чи снігового покриву.

Таблиця 1

Результати визначення глибини залягання бездефектного трубопроводу.

№ п/п	Час доби, г	Фактична глибина залягання трубопроводу, м	Розрахункова глибина залягання трубопроводу, м		Відхилення, %	
			без урахування зовнішніх умов	з урахування зовнішніх умов	без урахування зовнішніх умов	з урахування зовнішніх умов
1	4	1	0.8	0.9	20	10
2	6	1	0.9	1	10	0

3	8	1	1.1	1.05	10	5
4	10	1	1.6	1.1	60	10
5	12	1	1.8	1.2	80	20

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена задача розробки методів теплової діагностики трубопроводів, а також створення пакета прикладних програм для практичного використання. Основні результати, отримані при рішенні поставленої задачі, складаються в наступному:

1. Проведено аналітичний огляд сучасного стану теплового контролю як засобу діагностики магістральних трубопроводів. В результаті встановлено, що ТНК потенційно ефективно при виявленні деяких дефектів в них, тому що температурний розподіл на поверхні ґрунту пов'язано з параметрами трубопроводу, що характеризують його технічний стан: глибину залягання, наявність витоків, засмічення, порушення теплоізоляції.

Однак дотепер використовувався емпіричний підхід, що не дозволяє зв'язати зміну температурного розподілу на поверхні ґрунту з його параметрами. Перешкодою для встановлення такої кореляції з'явилася відсутність тривимірних теплофізичних моделей трубопроводів і дефектів у них, а, отже, і результатів їхнього аналізу.

2. Побудовано двовимірну теплофізичну модель бездефектного трубопроводу і тривимірну модель трубопроводу з дефектами "витік", "порушення ізоляції", що дозволяють описувати процеси теплопередачі при складні умовах навколишнього середовища.

3. Для опису й аналізу побудованих моделей розроблена нова модифікація чисельного методу кінцевих різниць;

4. Для доповнення чисельного методу розроблений чисельно-аналітичний метод із застосуванням теорії потенціалів, використання якого дозволяє проводити аналіз результатів теплового контролю трубопроводів у реальному масштабі часу;

5. Побудовані моделі реалізовані у вигляді пакету комп'ютерних програм "Контроль-Т", у який увійшли програми "Каратів", "Трубопровід" і "Кріт".

6. Визначено коло задач діагностики трубопроводів, для рішення яких тепловий метод найбільш ефективний:

- виявлення місць залягання підземних трубопроводів;
- визначення відхилень положення трубопроводу у вертикальній площині від номінального більш ніж на 0.1 м;
- виявлення витоків рідких продуктів з потужністю від 42×10^6 Дж/год, що еквівалентно 0.5 м³/год води при різниці температур речовини і навколишнього середовища не менш 20 °С.

7. Досліджено вплив добових і сезонних коливань температури навколишнього середовища і потужності сонячного випромінювання на погрішність теплової діагностики трубопроводів, запропоновані методики оптимізації режиму контролю, що дозволяють понизити похибку одержуваних даних на 10-50%.

8. Запропоновано метод визначення кількості теплоти виділеної трубопроводом і виток, що дозволяє з одного боку зменшити кількість необхідних апріорних даних, а з інший безпосередньо зв'язати теплове поле на поверхні ґрунту з обсягом виток, тобто перейти до проведення технічної діагностики трубопроводу.

9. Показана можливість використання спектрального аналізу термограм для ідентифікації теплових полів при рівні температурної аномалії створюваної дефектом трубопроводу порівнянню з рівнем теплових шумів на поверхні ґрунту.

10. З використанням розроблених методик були побудовані довідкові номограми для оцінки застосовності теплових методів до конкретного об'єкта контролю. Представлені номограми також дозволяють перейти від рішення задачі теплопровідності, тобто можуть бути використані на практиці для визначення параметрів трубопроводу і дефекту в ньому.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Стороженко В.А., Мельник С.И., Кухарев Ю.А. Новые методики для анализа информации при тепловом контроле трубопроводов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2001. -№2. - С.45-48.
2. Мельник С.И., Кухарев Ю.А. Учет влияния внешних факторов при проведении теплового контроля трубопроводов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2001.- №4. - С.50-53.
3. Кухарев Ю.А. Применение компьютерных средств при анализе термограм подземных трубопроводов // Радиоэлектроника и информатика. –2001. - №4. - С.108-111.
4. Мельник С.И., Кухарев Ю.А. Анализ результатов теплового контроля трубопроводов в реальном масштабе времени // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. - №1. - С.81-84.
5. Стороженко В.А., Мельник С.И., Кухарев Ю.А. Повышение информативности теплового метода контроля трубопроводов // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Зб. наук. пр. – Львів, 2002. - №7 – С.166-169.
6. Мельник С.И., Кухарев Ю.А. Программное обеспечение теплового неразрушающего контроля // Материалы международной научно-технической конференции “20-летие Старооскольского филиала МИСиС”. - Старый Оскол. - 1999.- С. 163-166.
7. Мельник С.И. Кухарев Ю.А. Тепловая диагностика технических систем.// Сборник научных

трудов 5-ой международной научно-технической конференции “Теория и техника передачи, приема и обработки информации”. - Харьков:ХТУРЭ.- 1999.-С.230-232.

8. Стороженко В.А., Мельник С.И., Кухарев Ю.А. Тепловая диагностика магистральных трубопроводов без вывода их из эксплуатации. // Матеріали третьої української науково-технічної конференції “Неруйнівний контроль та технічна діагностика”. – Дніпропетровськ. – 2000. –С.176-178.

АНОТАЦІЇ

Кухарев Ю. А. Безконтактні теплові методи виявлення трубопроводів та дефектів в них. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Харківський національний політехнічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2002.

Дисертація присвячена питанням виявлення деяких дефектів в підземних трубопроводах, а також визначенню їх параметрів тепловими методами. Для рішення поставлених задач була побудована трьохмірна теплофізична модель трубопроводу з локальними дефектами, що є джерелами тепла, в якій врахована зміна з часом зовнішніх чинників, які впливають на теплове поле на поверхні ґрунту над трубопроводом. Для аналізу моделі був розроблений математичний апарат з застосуванням чисельного методу кінцевих різниць і чисельно-аналітичного методу потенціалів, які взаємно доповнюють друг друга. Використання комбінації методів дозволило вирішувати більш різноманітні задачі теплової діагностики трубопроводів, а також підвищило його точність при таких самих параметрах обчислювальної системи. Теплофізичні моделі та математичний апарат їхнього аналізу були реалізовані в комп'ютерному комплексі обробки інформації "Трубопровід". Проведений аналіз моделей дозволив створити таблиці чутливості теплового методу при контролі трубопроводів. В роботі також проведено аналіз похибок, що виникають при проведенні теплового контролю. В результаті виявлені найбільш сприятливі умови для проведення теплового контролю трубопроводу, що дозволило створити методику проведення теплової діагностики трубопроводу. Ключові слова: об'єкт контролю, термограма, виток, трубопровід, тепловий контроль, температурний перепад.

Кухарев Ю.А. Бесконтактные тепловые методы обнаружения трубопроводов и дефектов в них. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Харьковский национальный политехнический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков,

2002.

Диссертация посвящена вопросам выявления некоторых дефектов в трубопроводах, а также определению параметров трубопровода и дефектов в нем тепловыми методами. Для решения поставленных задач была построена теплофизическая модель трубопровода с тепловыделяющими дефектами, в которой было учтено изменение внешних факторов с течением времени, которое оказывает влияние на тепловое поле на поверхности грунта над трубопроводом. Для анализа построенной модели был разработан математический аппарат с применением взаимодополняющих друг друга численного метода конечных разностей и численно-аналитического метода потенциалов. Использование комбинации методов позволило решать более разнообразные задачи тепловой диагностики трубопроводов, а также повысило быстродействие проводимого анализа данных и его точность при тех же параметрах вычислительной системы. Также было предложено при анализе данных теплового контроля трубопроводов использовать некоторые данные полученной термограммы, в частности, мощность теплового потока с поверхности грунта, которая при стационарном режиме теплообмена равна мощности тепла отдаваемого трубопроводом грунту. Это позволяет сократить количество необходимых для контроля априорных данных. В работе показана возможность проведения спектрального анализа термограмм для повышения вероятности выявления и идентификации дефектов в условиях сильных шумов. Теплофизические модели и математический аппарат их анализа были реализованы в виде пакета компьютерных программ обработки информации "Трубопровод", в который вошли три программы. В двух из них реализованы численный и численно-аналитические методы анализа разработанной модели, третья позволяет проводить оцифровку термограмм и преобразование этих данных к формату данных двух первых программ. Анализ моделей позволил создать таблицы чувствительности теплового метода при контроле трубопроводов. В работе также проанализировано влияние различных факторов на результаты теплового контроля. Также проведен анализ погрешностей, возникающих при его проведении. В результате выявлены наиболее благоприятные условия для проведения теплового контроля трубопроводов, которые обеспечивают наибольший температурный перепад температур на поверхности грунта и минимальное влияние факторов окружающей среды. Это позволило создать методику проведения тепловой диагностики трубопроводов.

Ключевые слова: объект контроля, термограмма, утечка, трубопровод, тепловой контроль, температурный перепад.

Kukharuev U.A. Contactless thermal methods of detection of pipelines and defects in them - Manuscript.

Thesis for the Candidate's degree of technical sciences on speciality 05.11.13 – devices and method of the control and definition of substances composition – Kharkov State Politechnical, Kharkov, 2002.

The dissertation is devoted to questions of revealing of some defects in pipelines, and also to definition of parameters of the pipeline and defects in it by thermal methods. For the decision of tasks in view it was constructed thermal model of the pipeline with heat leaks. In model change of external factors eventually which influences a thermal field on surfaces also is taken into account. For the analysis of the constructed model the mathematical device with application complementary each other a numerical method and a numerical - analytical method of potentials was developed. Use of a combination of methods has allowed to solve more various problems of thermal diagnostics of pipelines, and also has raised speed of the spent analysis of the data and its accuracy at the same parameters of the computing system. Thermal models and the mathematical device of their analysis were realized in a computer program "Pipeline". In result optimum conditions for realization of the thermal control of pipelines that has allowed to create a technique of realization of thermal diagnostics of pipelines are revealed.

Key words: testing object, thermogram, leak, pipeline, heat testing, temperature contrast.