

11. A. Fox, R. Griffith, A. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, and I. Stoica, "Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing," Dept. Electrical Eng. and Comput. Sciences, University of California, Berkeley, vol. 28, p. 13, 2009.
12. S. Garg, S. Sundaram, H. D. Patel, "Robust heterogeneous data center design: a principled approach," SIGMETRICS Performance Evaluation Review, vol. 39, P.28-30, 2011.
13. W. Liu, H. Li, W. Du, F. Shi, "Energy-aware Task Clustering Scheduling algorithm for heterogeneous clusters," in Proc. of IEEE/ACM International Conference on Green Computing and Communications (ICGCC), August 2011, Chengdu, China.
14. S. Telenyk, E. Zharikov, and O. Rolik, "Architecture and Conceptual Bases of Cloud IT Infrastructure Management," Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, vol. 512, 2017, P.41–62.
15. GWA-T-12 Bitbrains [Online] – Available from: <http://gwa.ewi.tudelft.nl/datasets/gwa-t-12-bitbrains>
16. S. Telenyk, E. Zharikov, and O. Rolik, "An approach to virtual machine placement in cloud data centers," in Proc. of the International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), 2016, P.1-6.

Поступила 6.09.2018р.

УДК 621.643.8

О.А. Владимирський, Київ

І.А. Владимирський, Київ

АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ ЗАСТОСУВАННЯ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ У СКЛАДІ ЗОНДА ДЛЯ ЕКСПРЕСНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТЕПЛОМЕРЕЖ

Abstract. The problems of diagnostics of heat networks are proposed and analyzed, for which the use of multiparameter measurements using a specialized probe for carrying out express diagnostics of heat networks with installation in non-transition channels is relevant.

Актуальність

Україна має одну з найбільш протяжних трубопровідних систем у світі та, зокрема, систему централізованого міського тепlopостачання. Значна протяжність та знос системи тепlopостачання міст України призводять до частих поривів теплотрас. У м. Києві щорічний приріст кількості виявлених та усунутих поривів за останні 5 років склав у середньому 7%. За 3,5 місяці проведення гідравлічних випробувань щорічно виявляється та усувається понад 1000 пошкоджень теплових мереж. Кількість пошкоджень у опалювальний період також поступово зростає, загрожуючи частими та

134 © О.А. Владимирський, І.А. Владимирський

небезпечними аваріями. Канальний тип прокладки сприяє відтоку теплоносія з місць пошкоджень та перешкоджає утворенню небезпечних вимоїн ґрунту. Однак її все частіше настає недостатнім, бо часті пориви приводять до замулень. Постійно прогресуючий загальний зріст пошкоджень тепломереж та водопроводу пред'являє жорсткі вимоги до оперативності та точності визначення місць підземних витоків та місць зі значним корозійним пошкодженням металу.

Крім вирішення завдань пошуку витоків та значного корозійного зносу металу стінки трубопроводу актуальним є необхідність вдосконалення методів визначення теплових втрат теплових мереж крізь наявну теплову ізоляцію ділянок теплових мереж та оцінки фактичних теплофізичних характеристик цієї теплоізоляції.

Постановка задачі

При вирішенні зазначених завдань пропонується розробити та впровадити у постійне виробниче використання інтегрований мультипараметричний зонд для експресної діагностики тепломереж. Його потенційна ефективність та користь базується, здебільшого, на двох засадах:

- більшість (біля 90%) тепломереж прокладена у непрохідних каналах, які унеможливають доступ людини для огляду теплопроводу між тепловими камерами, але найчастіше дозволяють просувати уздовж теплопроводу малогабаритний вимірювальний блок для здійснення дистанційно огляду теплопроводу та виконання теплофізичних та акустичних діагностичних вимірювань;
- завдяки використанню новітніх малогабаритних сенсорів, вимірювальних вузлів, засобів бездротового отримання телеметричної інформації є доцільним об'єднати у одному вимірювальному блоці максимальну кількість сенсорів, корисних для вирішення тієї чи іншої діагностичної задачі.

З метою з'ясування переліку та особливостей актуальних діагностичних задач, при вирішенні яких є корисним застосування дистанційних мультипараметричних вимірювань у теплових камерах та каналах прокладання теплових мереж, було створено та випробувано на діючих теплотрасах випробувальний зразок діагностичного зонда з дротовим зв'язком ДЗ-1. З'ясовано, що найбільшу користь використання мультипараметричних вимірювань має при вирішенні наступних актуальних виробничих діагностичних завдань:

- визначення місць витоків теплоносія безпосередньо за допомогою дистанційного виконання мультипараметричних вимірювань;
- розв'язання невизначеності у результатах пошуку витоків, отриманих за допомогою звичайних течешукачів;

- дистанційних обстежень теплових камер без необхідності опускання у них людини та з'ясуванні пошкодженої витоком ділянки теплової мережі;
- при виконанні корозійних обстежень ділянок тепломереж;
- для визначення тепловтрат теплових мереж крізь ізоляцію та оцінки її фактичних теплофізичних характеристик.

Робота виконана в межах проекту "Розробка інтегрованого мультипараметричного зонда для експресної діагностики тепломереж".

Далі надається аналіз ефективного комплексного використання результатів мультипараметричних вимірювань при вирішенні зазначених виробничих діагностичних завдань, дається відповідність кожному з завдань потрібного набору сенсорів та їх параметрів.

Аналіз завдань діагностування

1. Застосування зонда для визначення місць витоків теплоносія

При пошуку витоків теплоносія зараз широко використовуються спеціалізовані акустичні та кореляційні течешукачі. Їх принцип дії заснований на реєстрації акустичного шуму витoku вібродатчиками на ґрунті над теплотрасою та вібродатчиками на поверхні трубопроводу у теплових камерах чи підвалах будинків. При цьому використовується чи канал поширення шуму витoku до датчиків крізь ґрунт, чи канал поширення крізь трубопровід. Але існує ще канал поширення шуму витoku – крізь повітряне середовище у непрохідних каналах прокладання теплових мереж, який доцільно теж використовувати при інструментальному пошуку витоків. Найчастіше цей канал працює як звукопровід, який забезпечує розповсюдження акустичного шуму на десятки метрів. Типова ж довжина діагностованих ділянок між тепловими камерами становить 70-150 метрів, а надлишковий тиск у теплових мережах звичайно становить у подавальному трубопроводі 9 атм, у зворотному 4 атм. Зазначена відносно не велика довжина ділянок у сукупності зі значним робочим тиском часто забезпечують досить чутний шум витoku у повітряному середовищі з теплової камери навіть на слух. Така шумова ознака наявності витoku використовується обхідниками районів теплових мереж міст, однак оцінка на слух відстані до витoku є дуже обманною, бо слабке загасання акустичного шуму від далекого витoku у каналі прокладання теплопроводу створює суб'єктивне помилкове враження що витік знаходиться десь неподалік. Досвідченим обхідникам це добре відомо, тому оцінка відстані до витoku "на слух" ними майже не практикується. Якщо витік візуально не виявляється – у вигляді бризок чи бурлинь теплоносія у світлі потужного ліхтаря, викликається автомобільна діагностична лабораторія з пошуку витоків. Разом з тим візуальному спостереженню з теплокамери ознак течі часто перешкоджають часткова замулюваність каналу прокладки, незручне для спостереження положення свища в нижній частині труби або за опорою, відшарування черепичного

покриття тепломережі за яке з теплокамери заглянути неможливо, поворот теплотраси поблизу ТК в який також заглянути не можна і багато інших перешкод. Застосування ж традиційних течешукачів часто вимагає значних витрат часу, викликаних боротьбою з різного роду акустичними перешкодами (від автотранспорту для датчиків на ґрунті, від сопел елеваторів для датчиків на трубопроводі і т.п.). У багатьох практичних випадках пошук витоків можна значно спростити і прискорити за допомогою застосування спеціалізованого зонда для внутріканального обстеження теплотрас, вільного від впливів вищевказаних потужних акустичних завод.

Оскільки готових для використання зондів з можливістю проведення мультипараметричних вимірювань у каналах прокладання теплових мереж на прийнятній глибині – наприклад до 6 м. не було знайдено, у ПМЕ ім. Г.С. Пухова НАН України був розроблений та виготовлений випробувальний варіант зонду ДЗ-1 [1 – 3].

Як було сказано раніше, традиційні течешукачі використовують канали надходження акустичного шуму від витоків до датчиків по ґрунту над тепловою трасою та по трубопроводу. Разом з тим у міських умовах ці канали нерідко зазнають впливу потужних акустичних завод. У цих випадках застосування акустичних та кореляційних течешукачів не є простою формальною дією та потребують значних зусиль оператора та часу на те, щоб за рахунок ретельної частотної фільтрації та збільшення кількості вимірювань виділити шум витоків на фоні заводи. Разом з тим практика застосування ДЗ-1 показала, що використовуючи у якості каналу поширення та відповідно каналу селекції інформативного шуму витоків вільного від заводового впливу повітряного середовища у непрохідному каналі теплопроводу пошук витоків, що знаходиться неподалік від теплової камери, значно спрощується.

Іншим важким випадком для акустичних та кореляційних течешукачів є занадто малий тиск теплоносія, при якому корисні шуми витоків є дуже слабкими. Застосування ДЗ-1 теж з'явилося дуже корисним, оскільки у багатьох випадках вдавалося зареєструвати ознаку витоків: візуально, спостерігаючи булькотіння на дні каналу чи витікання води з пошкодження; за зростанням рівня акустичного шуму чи температури при наблизненні вимірювального блоку ДЗ-1 впритул до витоків. Можливість реєструвати витік за акустичною та температурною ознаками є важливим, оскільки за відеокамерою витік може не спостерігатися з причин наявності пара у каналі чи з причини наявності іншої візуальної перешкоди – замулення, опори, відшарування черепичного покриття тощо. З іншого боку, за наявністю відповідних умов, відеокамера дозволяє оцінити присутність витоків на значно більшій відстані, ніж довжина штанги зонда. Враховуючи, що заздалегідь не є відомим який різновид вимірювань зафіксує витік, застосування саме мультипараметричних вимірювань є найбільш ефективним при пошуку витоків.

2. Застосування зонда при розв'язанні невизначеності у результатах пошуку витоків, отриманих за допомогою звичайних течешукачів

Одною з поширених у практиці течешуку ситуацій є випадки присутності на діагностованій ділянці, окрім витоків, впливу потужних акустичних завад від насосів, сопел елеваторів споживачів, протікань сальникових компенсаторів, від засувок тощо. Характерною особливістю усіх цих та майже будь-яких інших потужних завад на поверхні трубопроводу є те, що ці завади надходять з країв діагностованої ділянки теплової мережі. При пошуку витоків звичайним кореляційним течешукачем ця загальна особливість завад спричиняє завадовий оплеск кореляційної функції, який за координатами звичайно знаходиться у межах до 6-7 метрів від краю ділянки, тобто від положення датчика у теплокамері. Таким чином фактично потужна завада утворює для коррелятора "мертву зону", у який, за показаннями приладу, по перше, не можна з'ясувати природу найпотужнішого джерела шуму (це витік чи завада), а по друге, на фоні цієї завади важко селектувати шуканий оплеск від витоків, особливо якщо він знаходиться у межах зазначеної "мертвої зони". Додатково обстежити цю зону та розв'язати зазначену невизначеність у показаннях течешукача дозволяє застосування діагностичного зонда, обладнаного блоком мультипараметричних вимірювань з мікрофоном, контактним сенсором температури та чутливою чорно-білою відеокамерою з потужним випромінювачем світла.

3. Застосування зонда для обстежень теплових камер та визначення пошкодженої ділянки теплової мережі

Застосування мультипараметричних дистанційних вимірювань за допомогою відповідного технічного зонду для обстежень теплових камер надає змогу у небезпечних для людини умовах у теплових камерах внаслідок надходження у неї гарячого теплоносія провести експресне візуальне, акустичне та температурне обстеження камери, прилеглих до неї областей каналів укладання труб та теплотехнічного обладнання. Це, у свою чергу, дає змогу в умовах запарованості оточуючого середовища відповісти на головне питання – звідки тече теплоносій: з обладнання у самій теплокамері (з пошкодженої засувки, зі спускника чи повітряника, з сальникового компенсатора тощо) чи з одного з чотирьох прилеглих до камери каналів. Часто, після відкачування теплоносія з теплокамери, теплоносій тривалий час надходить у камеру не з одного з чотирьох напрямків, а одночасно з двох та більше. У більшості випадків це обумовлено тим, що рівень теплоносія з пошкодження у теплокамері до відкачування піднявся вище каналів укладання труб та повністю залив їх. У таких умовах за ознакою напрямку, з якого надходить теплоносій у теплокамеру, визначити пошкоджену ділянку буває важко, бо інтенсивність потоку води з різних напрямків буває майже однакова довготривалий час. Розв'язати цю невизначеність дозволяють

мультипараметричні вимірювання, порівнянням температури теплоносія, що надходить у теплокамеру з різних напрямків. Крім того, завдяки добрим звукопровідним властивостям каналів укладання труб, корисним є порівняння рівнів та прослуховування характеру акустичних шумів у різних, прилеглих до теплокамери каналах. Причому все це можна виконувати дистанційно, у безпечних умовах з поверхні ґрунту без необхідності опускання у теплову камеру.

4. Застосування зонда при виконанні корозійних обстежень ділянок тепломереж

Оскільки строки експлуатації теплових мереж у середньому постійно зростають, все більшої актуальності набуває завдання визначення ділянок та місць на них з суттєвим, значним корозійним пошкодженням з метою попередження виникненню великих та небезпечних поривів. Застосування дистанційних мультипараметричних вимірювань у каналах прокладання теплопроводів дає можливість виявляти пошкоджені корозією місця у прилеглих до теплових камер та підвалів будинків ділянках теплових мереж як візуально за допомогою кольорової відеокамери, так і за тепловою ознакою. Ці вимірювання, найчастіше, не дозволяють обстежити всю ділянку теплопроводу між місцями доступу (теплові камери, підвали будинків). Крім того, візуально та за температурною ознакою можна оцінити наявність корозійного пошкодження, але оцінити її ступінь важко.

Для виявлення місць та оцінки ступеню корозійного пошкодження ділянок теплопроводів довжиною до 200 м. авторами цієї роботи розроблено приладовий комплекс "РАСТР-1". Корозійні місця виявляються шляхом акустичного зондування трубопроводу та реєстрації відбиттів зондувальних сигналів від місць з суттєвим корозійним пошкодженням. Оператору надається розподіл інтенсивності відбиттів по координатах діагностованої ділянки. Але цей розподіл характеризує не абсолютне, а відносне стоншення стінки трубопроводу. Для того, щоб по них оцінити фактичне стоншення потрібно мати базову ділянку теплопроводу довжиною кілька метрів з відомою товщиною стінки трубопроводу. Дані про таку коротку ділянку у межах протяжної діагностованої ділянки теоретично можна отримати з виконавчої та ремонтної документації. Але практично зручніше оперативно застосувати зонд та обстежити ним прилегли до теплокамер області теплопроводу. Звичайно вдається виявити прилеглу до камери непошкоджену ділянку та оцінити її товщину шляхом оперативного вимірювання товщини трубопроводу у тепловій камері за допомогою ультразвукового товщиноміра.

5. Розвиток зонда у напрямку його використання для визначення тепловтрат теплових мереж крізь ізоляцію та оцінки її фактичних теплофізичних характеристик

Випробувальний варіант діагностичного зонда ДЗ-1 у своєму складі вимірювальних сенсорів не має датчика теплового струму. Тому відпрацювання витребуваної процедури визначення фактичних тепловтрат теплопроводу дистанційно у каналах прокладання не було виконано. Разом з тим оцінити теплові втрати ділянок теплових мереж шляхом виміру теплового струму крізь теплоізоляцію не дистанційно, тобто біля теплокамери не є коректним, оскільки температурне поле та конвекційні процеси у камері значно відрізняються від аналогічних умов у каналах прокладання на основній довжині ділянки та впливають на результати вимірювань. Для виключення впливу теплокамери необхідно проводити теплові вимірювання на відстані не менш 5 м від теплокамери.

Вирази для визначення за показаннями мультипараметричних вимірювань теплофізичних характеристик теплоізоляції для циліндричних поверхонь мають вигляд [4]:

$$R_l = \frac{t_{mp} - t_{iz}}{\pi \cdot D_{iz} \cdot P_l}; \quad R_h = \frac{t_{iz} - t_{пов}}{\pi \cdot D_{iz} \cdot P_l}; \quad \lambda = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_l} \ln \left(\frac{D_{iz}}{D_{mp}} \right); \quad a = \frac{1}{\pi \cdot D_{iz} \cdot R_h};$$

де: R_l – термічний опір шару ізоляції, $m \cdot ^\circ C / Bm$; R_h – термічний опір поверхні ізоляції, $m \cdot ^\circ C / Bm$; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу теплоізоляції, $Bm / m / ^\circ C$; a – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні теплоізоляції, $Bm / m^2 / ^\circ C$; D_{iz} – діаметр трубопроводу з ізоляцією, м; D_{mp} – діаметр трубопроводу, м.

Параметри, що отримуються за допомогою мультипараметричних вимірювань наведені у табл. 1. Слід зазначити, що для каналної прокладки, на відміну від повітряної, треба враховувати взаємний вплив на теплові втрати подавального та зворотного трубопроводів. Для дистанційних мультипараметричних вимірювань це означає, що вимірюваний тепловий потік P_l у різних напрямках по колу поверхні подавального чи зворотного трубопроводу буде суттєво різним. Тому, для того щоб оцінити питомі теплові втрати для кожного з трубопроводів треба виконати кілька вимірювань величини P_l з різних боків трубопроводу. Тоді середні втрати по кожному з трубопроводів на 1 м. довжини можна оцінити осередненням отриманих значень P_l .

$$Q_{под} = \frac{\pi \cdot D_{под}}{N} \sum_{i=1}^N P_{l_{под i}}; \quad Q_{звор} = \frac{\pi \cdot D_{звор}}{N} \sum_{i=1}^N P_{l_{звор i}}; \quad Q = Q_{под} + Q_{звор}$$

де: $Q_{под}$, $Q_{звор}$, Q – відповідно питомі теплові втрати по подавальному,

зворотному трубопроводу та загальні, Bm/m ; $D_{под}$, $D_{звор}$ – відповідно діаметри подавального та зворотного теплопроводів, м; N – кількість вимірювань теплового потоку з різних боків теплопроводу.

Таблиця 1

Параметри, що отримуються за допомогою мультипараметричних вимірювань при визначенні питомих теплових втрат крізь теплову ізоляцію та її теплофізичних характеристик.

п/п	Позначення вимірюваного параметру	Назва вимірюваного параметру	Сенсор, що використовується при мультипараметричних вимірюваннях
1	P_l	Тепловий потік, Вт/м ² .	ПТП розробки ІТТФ НАН України
2	t_{mp}	Температура поверхні трубопроводу, °С	Контактний датчик температури
3	$t_{із}$	Температура поверхні теплоізоляції, °С	Безконтактний датчик температури
4	$t_{нов}$	Температура повітря у каналі прокладання, °С	Контактний датчик температури

Для того, щоб отримані значення $Q_{под}$, $Q_{звор}$ чи Q можна було розповсюдити на всю ділянку трубопроводу та обчислити загальні теплові втрати цієї ділянки, потрібна інформація про стан теплової ізоляції на невимірних метрах теплопроводу. Джерелом такої інформації може бути виконавча та ремонтна документація на теплопровід. Однак ця інформація не в змозі відстежувати часові зміни фактичного стану теплопроводу. Допомогти у цьому питанні може дистанційне внутрішньо каналне візуальне та теплометричне обстеження ділянки трубопроводу за допомогою діагностичного зонду, оснащеного кольоровою відео та тепловізійною камерами. Тоді, якщо тепловізійний експресний огляд теплопроводу у каналі прокладання уздовж вісі теплопроводу не визначає теплових аномалій на всю довжину огляду (десятки метрів), виміряні питомі теплові втрати можна розповсюдити на цю відстань.

Висновки

За результатами проведеного аналізу завдань діагностики підземних трубопроводів теплових мереж, проведених польових випробувань випробувального зразка зонда ДЗ-1, з'ясовано перелік завдань, актуальних для виконання мультипараметричних вимірювань за допомогою зонда для експрес-діагностики теплових мереж. У табл. 2 надано перелік завдань, у яких застосування дистанційних мультипараметричних вимірювань є корисним та робить виконання завдань більш ефективним. Також наведена відповідність кожному завданню витребуваних сенсорів.

Відповідність необхідних сенсорів у вимірювальному блоці діагностичному завданню

П /п	Діагностичне завдання	Необхідні для вирішення завдання сенсори
1	Визначення місць витоків теплоносія	1. Відеокамера (ч/б) 2. Мікрофон 3. Контактний датчик вимірювання температури Температура оточуючого середовища до 100 °С (можливе короткочасне занурення блоку у теплоносії)
2	Розв'язання невизначеності у результатах пошуку витоків	1. Відеокамера (ч/б) 2. Мікрофон 3. Контактний датчик вимірювання температури Температура оточуючого середовища до 100 °С (можливе короткочасне занурення блоку у теплоносії)
3	Дистанційне обстеження теплових камер та визначення пошкодженої ділянки теплової мережі	1. Відеокамера (ч/б) 2. Мікрофон 3. Контактний датчик вимірювання температури Температура оточуючого середовища до 100 °С (можливе короткочасне занурення блоку у теплоносії)
4	При виконанні корозійних обстежень ділянок тепломереж	1. Відеокамера (кольорова) 2. Безконтактний датчик вимірювання температури Температура оточуючого середовища до 70 °С (без занурення у теплоносії)
5	Визначення тепловтрат теплових мереж крізь ізоляцію та оцінки її фактичних теплофізичних характеристик	1. Відеокамера (кольорова) 2. Датчик теплового струму 3. Тепловізійний пристрій 4. Контактний датчик вимірювання температури Температура оточуючого середовища до 70 °С (без занурення у теплоносії).

1. *Владимирский А.А., Владимирский И.А.* Зонд для внутриканального обстеження теплових сетей // 36. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – Київ, 2012. – Вип. 66. – С.35-38.

2. *Владимирский А.А., Владимирский И.А., Буряк М.М.* Применение диагностического зонда ДЗ-1 для поиска утечек тепловых сетей // XXXIII наук.-техн. конф. «Моделювання»: Тези доп. – Київ: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2014. – С.41.

3. *Владимирский А.А., Владимирский И.А., Криворучко И.П., Криворот А.А., Савчук Н.П.* Разработка диагностического зонда ДЗ-1. Моделювання та інформаційні технології // 36. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – Київ, 2011. – Вип. 59. – С.20-25.

4. *Соколов Е.Я.* Теплофикация и тепловые сети. – М: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с

Поступила 17.09.2018р.