

І.Р. ВАЩИШАК, канд. техн. наук, доц. ІФНТУНГ, Івано-Франківськ

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ МІСЦЬ ТЕПЛОВТРАТ У ПІДЗЕМНИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖАХ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕНЕРГОАУДИТУ

В статті розглянуто причини понаднормативних втрат теплової енергії при її транспортуванні від джерела до споживача підземними тепловими мережами. Запропоновано інформаційно-вимірнювальну систему для контролю підземних теплових мереж безканальної прокладки з трубопроводами в пінополіуретановій тепловій ізоляції, в основу роботи якої покладено комплексне застосування трьох інформативних параметрів (температури приповерхневого шару ґрунту, акустичного тиску на поверхні ґрунту та струму у стінках трубопроводу). Розроблено методику проведення експериментальних досліджень за допомогою інформаційно-вимірнювальної системи, яка пройшла успішну апробацію.

Ключові слова: теплові втрати, підземні теплові мережі, інформаційно-вимірнювальна система, дефект, інформативний параметр, функціональна схема

Вступ. Для оптимізації споживання паливно-енергетичних ресурсів, що використовуються при отриманні теплової енергії для побутових та виробничих потреб, проводять енергоаудит систем теплопостачання. Суттєву роль у зниженні непродуктивних втрат теплової енергії при її транспортуванні від джерела до споживача відіграє стан теплових мереж. Це зумовлено тим, що загальна зношеність тепломереж сягає понад 50% [1], а фактичні втрати тепла сягають 60 % [2, 3], при нормативних 13%. Результати проведених енергоаудитів не раз підтвердили, що найслабшою ланкою комунального теплопостачання є не теплогенеруючі потужності, що, як виявилось, часто піддаються відносно недорогій модернізації, а його транспортна складова, мінімальний наскрізний дефект в якій здатен звести нанівець усі підвищення ККД. Тому професійний енергоаудит є дуже важливим кроком на шляху забезпечення максимально ефективного функціонування тепломережі. Його проведення доцільне як на стадії виконання ремонтних робіт, так і як профілактичний захід для своєчасного виявлення неполадок в системі.

Енергоаудит теплових мереж повинен здійснюватись із застосуванням діагностичного обладнання, що гарантує високу достовірність результатів енергоаудиту та допомагає знизити фінансові витрати на проведення комплексного обстеження теплових мереж.

Аналіз останніх досліджень та літератури. На даний час значною проблемою при виявленні місць теплових втрат у тепломережах є застосування трубопроводів з пінополіуретановою (далі – ППУ) ізоляцією, прокладених безканално. Ці трубопроводи мають потужну звуко- та гідроізоляцію і терміни служби понад 30 років, але, як показали дослідження [4], через порушення вимог до їх прокладання, неякісні матеріали конструкції трубопроводів та агресивну дію теплоносія, значна частина з них вже через 3 – 5 років експлуатації стає аварійно небезпечною.

Дослідженню питання контролю підземних теплових мереж присвячено ряд робіт зарубіжних та вітчизняних вчених, однак, їх увага зосереджувалась, в основному, на розробленні та технічній реалізації теплових і акустичних методів контролю теплових мереж каналного прокладання [5, 6].

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 [5].

За рахунок багат шарової структури і специфічних характеристик трубопроводів з ППУ-ізоляцією виявлення дефектів ускладнюється, а значна частина інформативних параметрів потребує прямого доступу до об'єкта контролю. Крім того, у трубопроводах з ППУ-ізоляцією виникають дефекти, які не були властиві тепломережам з мінераловатною ізоляцією. Більшість відомих засобів контролю не дають змоги розрізняти дефекти за видами, що ускладнює планування ремонтних робіт.

Тому актуальність розроблення інформаційно-виміральної системи (ІВС) для виявлення місць теплових втрат у безканалних теплових мережах на фоні значного подорожчання енергоносіїв не викликає сумнівів.

Метою статті є опис функціональної структури розробленої ІВС, яка при проведенні енергоаудиту дає змогу з високим ступенем імовірності знаходити дефекти у підземних теплових мережах безканалної прокладки з трубопроводами в пінополіуретановій ізоляції, що призводять до значних теплових втрат при транспортуванні теплоносія.

Матеріали досліджень. В основу роботи ІВС покладено контактний тепловий і безконтактні акустичний та індукційний неруйнівні методи контролю. При цьому інформативними параметрами для виявлення місць теплових втрат у підземних теплових мережах є температура приповерхневого шару ґрунту, акустичний тиск та струм у стінках трубопроводу, виміряні на поверхні ґрунту над досліджуваним трубопроводом [7].

Застосування в ІВС комплексу інформативних параметрів та розробленого методу ідентифікації виду дефекту [7] дало змогу суттєво підвищити точність виявлення місць теплових втрат і оцінити технічний стан трубопроводу. При цьому, запропонована наступна класифікація видів основних дефектів, які виникають в трубопроводах з ППУ-ізоляцією: „розрив трубопроводу”, „руйнування тепло- та гідроізоляцій”, „руйнування гідроізоляції”, „мігруюча вода”.

Визначення струму у стінках трубопроводу дозволяє знаходити трасу трубопроводу та визначати глибину його залягання. Крім того, за різкою зміною значень цього струму знаходяться місця значної розгретизації та розриви трубопроводу. Оскільки ППУ-ізоляція трубопроводів має значні звукопоглинаючі властивості, то виявити місце дефекту, особливо незначних розмірів, акустичним методом доволі складно. Тому в ІВС застосовано примусове акустичне збудження тіла трубопроводу за допомогою магнітострикторів, що дає змогу використати його як довгий ненаправлений звуковід. Акустичний тиск на поверхні ґрунту вимірюється за допомогою вузьконаправленого мікрофону. Акустичним методом знаходяться всі зазначені вище види дефектів. Теплова картина вздовж трубопроводу знімається шляхом контактного вимірювання температури ґрунту на глибині 2-5 см від поверхні. Даний інформативний параметр застосовується як додатковий при ідентифікації виду дефекту.

ІВС складається з трьох основних вузлів – збудження, навантаження та вимірювального.

Вузол збудження (див. рис. 1, *a*) розміщується в тепловій камері і містить радіоприймальний пристрій 1 з антеною 2, блок вибору режиму роботи 3, підсилювач потужності 4, пристрій збудження акустичних хвиль у трубопроводі 5, перетворювач постійної напруги 6, клему для приєднання до трубопроводу 7 та заземлювач 8.

Вузол навантаження ІВС (див. рис. 1, *б*) розміщується у тепловій камері, у яку заходить досліджуваний трубопровід, і складається з резистора R та котушки індуктивності L , приєднаних до тіла трубопроводу, які за допомогою перемикача S можуть по чергово приєднуватись

до заземлювача 8, створюючи різноманітні навантаження при дослідженні струму у стінках трубопроводу.

Вимірювальний вузол ІВС виконано у виді переносної штанги (див. рис. 1, в), до складу якого входять канал керування генератором, три вимірювальних канали (по одному на кожен інформативний параметр) та блок запису даних. Канал керування генератором складається з блоку вибору режиму вимірювань 9, блоку керування генератором 10, генератора фіксованих частот 11 та радіопередавального пристрою 12 з антеною 13. Канал вимірювання акустичного тиску складається з вимірювального мікрофону 14, розміщеного в звукоізольованій камері 15, та компенсаційного мікрофону 16, виходи яких приєднані до мікрофонних підсилювачів 17 і 18, диференційного підсилювача 19, розгалужувача сигналу 20, фільтра 21, амплітудного випростовувача 22 та аналогового індикатора 23.

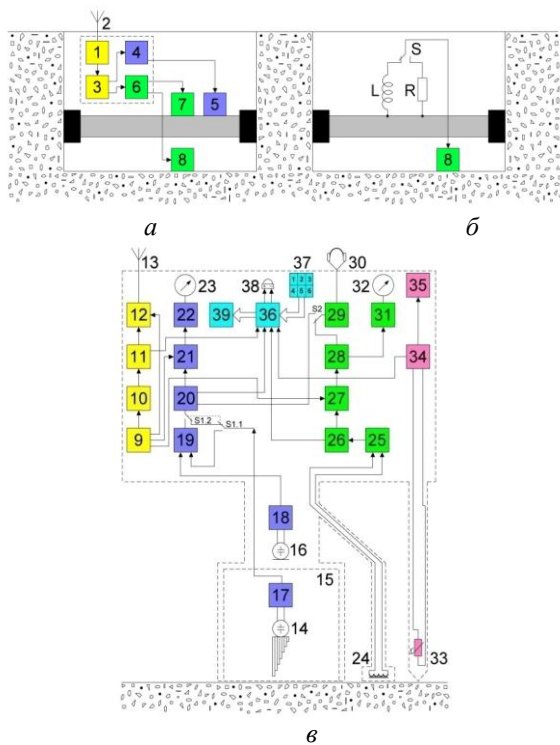


Рис. 1 – Функціональна схема ІВС: *a* – вузол збудження; *б* – вузол навантаження; *в* – вимірювальний вузол

Канал вимірювання струму у стінках трубопроводу містить екрановану вимірювальну котушку 24, розміщену на поворотній штанзі, підсилювач змінної напруги 25, розгалужувачі сигналу 26 та 28, фільтр 27, підсилювач потужності 29 з навушниками 30, амплітудний випростовувач 31 і аналоговий індикатор 32.

До складу каналу вимірювання температури входить термоопір 33, розміщений у мідній голці, який за допомогою гнучкого кабеля приєднаний до розгалужувача сигналу 34 та цифрового термометра 35.

Блок запису даних складається з мікропроцесорного модуля 36, клавіатури управління 37, зумера 38 та блоку пам'яті 39.

Для керування роботою вузла збудження в ІВС використовується радіоканал з частотною модуляцією, який працює в симплексному режимі. Він реалізований за допомогою цифрового передавального пристрою 12 (Kensington 80640A) у вимірювальному вузлі та цифрового приймального пристрою 1 (Thomson RT 212) у вузлі збудження. Для роботи радіоканалу вибирається частота з діапазону FM (88 – 108 МГц), вільна від радіозавад. Підсилювач потужності 4 реалізовано на мікросхемі TDA1516Q, а перетворювач постійної напруги 6 зібрано за мостовою схемою на потужних польових транзисторах. Як пристрій збудження акустичних хвиль 5 застосовано чотири магнітостриктори з максимальною інтенсивністю в діапазоні робочих частот (0,5; 1; 2; 4 кГц) 96 дБ, які розміщені на металізованому ремені, що кріпиться до тіла трубопроводу.

Для реєстрації акустичного тиску на поверхні ґрунту використано вузьконаправлений трубчастий мікрофон 14. Для компенсації потужних зовнішніх шумів та підвищення відношення сигнал/шум застосовано другий аналогічний мікрофон 16, розвернутий відносно мікрофона 14 на 180 і співвісний з ним, який приймає тільки шуми зовнішнього середовища. Сигнали з виходів мікрофонних підсилювачів 17, 18 надходять на диференційний підсилювач 19, який подавляє синфазні шуми мікрофонів 14 і 16 та виділяє корисний сигнал. За допомогою перемикача S1 можна виключати зі схеми вимірювань компенсаційний мікрофон 16, мікрофонний підсилювач 18 та диференційний підсилювач 19, при відсутності зовнішніх шумів. Перемикач S2 використовується для прослуховування через навушники сигналу з каналу вимірювання акустичного тиску, або з каналу вимірювання струму у трубопроводі (на частотах 2,5 і 5 кГц). Як фільтри 21 і 27 застосовано Т-подібні смугопропускаючі активні фільтри з можливістю дискретного переналаштування смуги частот.

Як цифровий термометр 35 в ІВС застосовано термометр типу РМТЕМР1 з діапазоном вимірюваних температур від -50 С до +70 С з роздільною здатністю 0,1 С, в якому як давач використано виносний терморезистор 33.

Мікропроцесорний модуль 36 блока запису даних виконано на мікропроцесорі PIC18LF4620. Цей мікропроцесор має 13 каналів 10-ти бітних АЦП і тактову частоту 20 МГц. Клавіатура управління 37 має шість кнопок. Чотири кнопки відповідають за фіксацію даних по кожному вимірюваному інформативному параметру (для запису струму у трубопроводі використано дві кнопки – для резистивного та індуктивного навантаження), одна – за запис циклу вимірювань, одна – за скидання. Процес фіксації даних супроводжується коротким звуковим сигналом зумера 37. Якщо дані записано помилково, потрібно натиснути на кнопку скидання. Після цього останні внесені у пам'ять дані будуть видалені і замість них можна записати нові. Як блок пам'яті 39 застосовується SD-card-mod адаптер, в якому використовується SD карта пам'яті типу Compact Flash, об'ємом 1 гігабайт. Обмін інформацією між мікропроцесором і блоком пам'яті здійснюється по SPI-інтерфейсу. Дані з мікропроцесорного модуля 36 записуються в карту пам'яті у форматі файла з розширенням .txt, які для обробки імпортуються в програмне середовище Exell ноутбука чи ПЕОМ.

Загальний вигляд розробленої ІВС зображено на рис. 2.

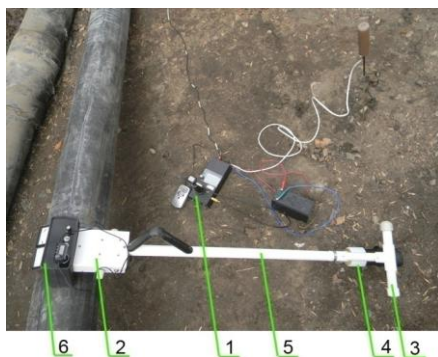


Рис. 2 – Загальний вигляд ІВС: 1 – вузол збудження, 2 – вимірювальний вузол, 3 – магнітна антена, 4 – звукоізольована камера вимірювального мікрофону, 5 – штанга, 6 – блок запису даних

Методика проведення експериментальних досліджень за допомогою ІВС наведена на рис. 3.

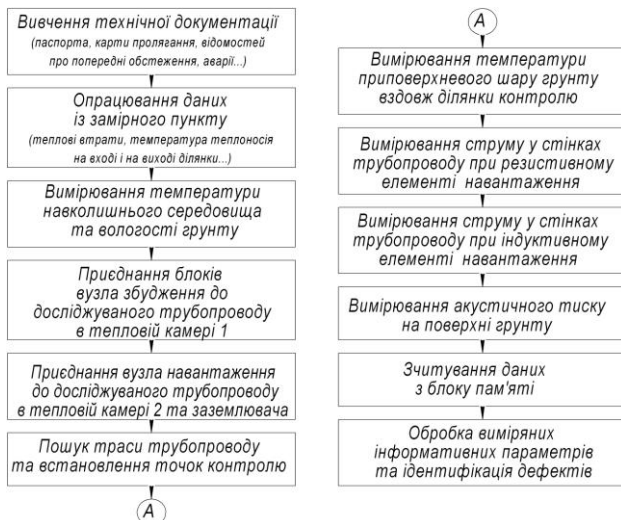


Рис. 3 – Методика проведення експериментальних досліджень за допомогою ІВС

Результати досліджень. Протягом 2012 – 2013 років проводилась промислова апробація розробленої ІВС та методики виявлення теплових втрат у підземних теплових мережах на об'єктах ДМП "Івано-Франківськтепло-комуненерго", КП "Водотеплосервіс" на території міста Калуш та нафтоперекачувальної станції "Куровичі" філії "Магістральні нафтопроводи "Дружба" ВАТ "Укртранснафта". За результатами досліджень було виявлено 37 аномальних ділянок. З них за допомогою методу ідентифікації виду дефекту було встановлено 9 місць дефектів тепломережі, що мали теплові втрати різної інтенсивності. Після проведеного шурфування було підтверджено існування 8 дефектів.

Висновки. Описана ІВС за допомогою вимірювання трьох інформативних параметрів дозволяє з високим ступенем імовірності знаходити дефекти у підземних теплових мережах безканальної прокладки з трубопроводами в ППУ-ізоляції, які спричинюють теплові втрати. Це дає змогу комунальним службам оперативного реагувати на ситуацію та економити кошти на проведення ремонтних робіт, а також зменшувати час відключення споживачів від теплопостачання. Під час проведення енергоаудиту теплових мереж результати контролю дозволяють надати рекомендації щодо усунення теплових втрат із зазначенням їх першочерговості та розміру необхідних капіталовкладень.

Список літератури: 1. *Київенерго*. Річний звіт 2012. [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kyivenergo.com>. 2. *Маляренко О.Є.* Наукові основи формування та оптимізація паливно-енергетичних балансів / О.Є. Маляренко, Т.О. Євтухова // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – №2(33). – С. 5-14. 3. *Дорошенко О.В.* Оцінка стану, обґрунтування актуальності оптимізації систем теплопостачання / О.В. Дорошенко // Комунальне господарство міст. – 2013. – №110. – С. 159-167. 4. *Кулик М.М.* Аналіз стану розвитку систем теплопостачання в Україні / М.М. Кулик, Г.О. Куц, В.Д. Білодід // Проблеми загальної енергетики. – 2006. – №14. – С. 13-24. 5. *Ващишак І.Р.* Аналіз методів контролю технічного стану підземних теплових мереж / І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, О.М. Карпаш // Нафтогазова енергетика. – 2010. – № 2 (13). – С. 64-69. 6. *Ващишак С.П.* Застосування інтелектуальних приладів для визначення місць теплових втрат у мережах теплопостачання / С.П. Ващишак, І.Р. Ващишак, С.І. Мельничук // Наукові вісті ПВНЧ „Галицька академія”. – 2010. – №1(17). – С. 83-88. 7. *Ващишак І.Р.* Метод ідентифікації видів дефектів трубопроводів підземних теплових мереж / І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, Л.А. Витвицька, П.М. Райтер // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2013. – №1/34. – С. 162-171.

Bibliography (transliterated): 1. PAT Kyivenerho. "Richnyy zvit 2012." *Oftsinyy sayt PAT Kyivenerho*, 2014. Web. 30 March 2014 <<http://kyivenergo.com>>. 2. Malyarenko, O.Ye., and T.O. Yevtukhova. "Naukovi osnovy formuvannya ta optymizatsiya palyvno-enerhetychnykh balansiv." *Problemy zahal'noyi enerhetyky*. No.2.33. 2013. 5-14. Print. 3. Doroshenko, O.V. "Otsinka stanu, obgruntuvannya aktual'nosti optymizatsiyi system teplopostachannya." *Komunal'ne hospodarstvo mist*. No.110. 2013. 159-167. Print. 4. Kulyk M.M., H.O. Kuts and V.D. Bilodid. "Analiz stanu rozvytku system teplopostachannya v Ukraini." *Problemy zahal'noyi enerhetyky*. No.14. 2006. 13-24. Print. 5. Vashchyshak, I.R., S.P. Vashchyshak and O.M. Kar-pash. "Analiz metodiv kontrolyu tekhnichnoho stanu pidzemnykh teplovykh merezh." *Nafto-hazova enerhetyka*. No.2.13. 2010. 64-69. Print. 6. Vashchyshak, S.P., I.R. Vashchyshak and S.I. Mel'nychuk. "Zastosuvannya intelektual'nykh pryladiv dlya vyznachennya mist' teplovykh vtrat u merezhakh teplopostachannya." *Naukovi visti PVNCh "Halys'ka akademiya"*. No.1.17. 2010. 83-88. Print. 7. Vashchyshak, I.R., et al. "Metod identyfikatsiyi vydiv defektiv truboprovodiv pidzemnykh teplovykh merezh." *Naukovyy visnyk Ivano-Frankivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu*. No.1.34. 2013. 162-171. Print.

Надійшла (received) 12.05.2014