

## БЕЗКОНТАКТНЕ ВИЯВЛЕННЯ МІСЦЬ ВИТОКІВ У ПІДЗЕМНИХ ТЕПЛОМЕРЕЖАХ БЕЗКАНАЛЬНОЇ ПРОКЛАДКИ

*І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, А.В. Яворський*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 504708,  
e-mail: tdm@nimg.edu.ua*

*Розглянуто проблеми, які виникають під час експлуатації підземних теплових мереж з трубопроводами в пінополіуретановій тепловій ізоляції, прокладених безканальним способом. Проаналізовано проблеми, що виникають у системах оперативно-дистанційного контролю таких трубопроводів. Вказано недоліки акустичних методів контролю, які виникають у процесі інструментального обстеження теплових мереж. Запропоновано пошук підземних теплових мереж безканальної прокладки та виявлення місць витоків у них здійснювати шляхом аналізу характеру розподілу природних електромагнітних полів у приповерхневій області Землі. За допомогою дослідної установки отримано профілі розподілу напруженості електричної компоненти електромагнітного поля Землі над тепломережею в приповерхневій області. Встановлено, що місце витоку у підземній тепловій мережі можна виявити за зміною фазового зсуву та напруженості електростатичного поля. Розроблено пристрій для виявлення місць витоків у підземних теплових мережах безканальної прокладки, в якому як інформативні використовуються два параметри - інтеграл фазового зсуву на частоті прийому, величина якого змінюється на границі переходу середовищ (грунт - труба), та напруженість електростатичного поля. Описано конструкцію пристрою та наведені його основні технічні характеристики. Розроблено методику проведення вимірювань при пошуку траси та виявленні витоків у підземних теплових мережах безканальної прокладки.*

**Ключові слова:** трубопровід, пінополіуретанова ізоляція, метод, пристрій, тепла мережа, безканальна прокладка, електромагнітне поле, витік.

*Рассмотрены проблемы, которые возникают во время эксплуатации подземных тепловых сетей с трубопроводами в пенополиуретановой тепловой изоляции, проложенных безканальным способом. Проанализированы проблемы, возникающие в системах оперативно-дистанционного контроля таких трубопроводов. Указаны недостатки акустических методов контроля, возникающие в процессе инструментального обследования тепловых сетей. Предложено поиск подземных тепловых сетей бесканальной прокладки и выявление мест истоков в них осуществлять путем анализа характера распределения естественных электромагнитных полей в приповерхностной области Земли. С помощью опытной установки получены профили распределения напряженности электрической компоненты электромагнитного поля Земли над теплосетью в приповерхностной области. Установлено, что место истока теплоносителя из подземной тепловой сети можно обнаружить по изменению фазового сдвига и напряженности электростатического поля. Разработано устройство для выявления мест истоков теплоносителя в подземных тепловых сетях бесканальной прокладки, в котором как информативные используются два параметра - интеграл фазового сдвига на частоте приема, величина которого изменяется на границах перехода сред (почва - труба), и напряженность электростатического поля. Описана конструкция устройства и приведенные его основные технические характеристики. Разработана методика проведения измерений при поиске трассы и выявлении истоков в подземных тепловых сетях бесканальной прокладки.*

**Ключевые слова:** трубопровод, пенополиуретановая изоляция, метод, устройство, тепловая сеть, бесканальная прокладка, электромагнитное поле, источник.

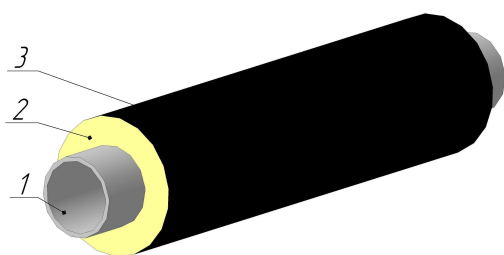
*In-service problems occurring to buried trenchless-laid heat-supplying systems of urethane foam insulated pipelines are considered. Problems occurring to remote operational monitoring systems at pipelines of such type are analyzed. The shortcomings of acoustic control method used for tool inspection of heat-supplying systems are determined. It is offered to locate buried trenchless-laid heat-supplying systems and to detect their leakages by analyzing the natural electromagnetic fields distribution in the surficial region of the Earth. With the help of the research unit, some profiles of electromagnetic Earth field electrical component stress distribution over the heat-supplying systems in the surficial region were determined. It is established that heat leaks in buried heat-supplying systems can be detected by measuring changes in phase shift and electromagnetic field stress. A device for detecting heat leaks in buried trenchless-laid heat-supplying system is designed, using two informative parameters: i.e. phase shift integral at receiving frequency (its value changes at the place of substance (soil-to-tube) change) and electromagnetic field stress. The design and basic specifications of the device are described. A specific measuring technique for locating buried trenchless-laid heat-supplying system and detecting their leakages is developed.*

**Key words:** pipeline, urethane foam insulated, technique, device, heat-supplying system, trenchless-laid, electromagnetic field, leakage.

Надійність і економічність теплопостачання житлового фонду і промислових об'єктів, у більшості випадків, залежить від фактичного технічного стану теплових мереж, і, зокрема, цілісності трубопроводів. Згідно з урядовою програмою зараз в Україні здійснюється моде-

рнізація систем теплопостачання, в основному, за рахунок заміни старих тепломереж з мінераловатною ізоляцією новими, більш ефективними. Згідно з Правилами технічної експлуатації теплових установок і мереж [1] діючі теплові мережі і ті, що знову вводяться в експлуатацію,

повинні бути прокладені попередньо ізольованими трубами. Вимоги до експлуатування та діагностування трубопроводів теплових мереж визначаються Правилами будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води [2]. Попередньо ізольований трубопровід для тепломережі (рис. 1) [3, 4] складається з металеві труби, шару теплоізоляції зі спіненого поліуретану (ППУ-ізоляції) та шару підсиленої поліетиленової гідроізоляції. Теплоізоляційні характеристики таких трубопроводів є суттєво вищими за характеристики трубопроводів з мінераловатною ізоляцією [4].



1 – металевий трубопровід; 2 – теплоізоляція; 3 – гідроізоляція

**Рисунок 1 – Конструкція трубопроводу тепломережі з ППУ-ізоляцією**

Укладання підземних тепломереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції здійснюється безканальним способом відповідно до вимог ДБН В.2.5-39 [3].

Заявлений термін експлуатації теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції сягає 25-30 років. Проте, якість конструкції і теплоізоляційні характеристики підземних тепломереж, що застосовуються в даний час у вітчизняній практиці будівництва, в основному, не задовольняють сучасним вимогам ефективності і довговічності. Досвід експлуатації теплових мереж свідчить, що контроль за реальними тепловими втратами на них, як правило, не проводиться, хоча в ряді випадків можна виявити, що до 50% транспортованої теплоти не доходить до споживача через порушення теплоізоляції і наявні витіки теплоносія. Старіння трубопроводів через корозію відбувається в 2-3 рази швидше за розрахункові нормативні терміни. Статистика свідчить, що на кожні 100 км двотрубних теплових мереж щорічно виявляється близько 30-40 ушкоджень [5]. При міжремонтному періоді 16 років перекладка трубопроводів безканальної прокладки проводиться через 6-8 років, а прокладені в непрохідному каналі – через 12 років [5]. Основні причини такого швидкого виходу з ладу нових тепломереж – недотримання технології монтажу, низька якість матеріалу трубопроводів і їх ізоляційного покриття, високий вміст кисню в мережеві воді, якою заповнена система.

Поряд з економічними втратами найбільша безпека при експлуатації теплових мереж безканальної прокладки виникає при появі витоків з тепломережі, що не виходять на поверхню. Така ситуація є типовою при втраті герметичності тепломереж, особливо безканальної

прокладки, що прокладені під різними видами багатшарового дорожнього покриття чи бетонними площадками. В цьому випадку теплоносії, що витікає з мережі, поступово розмиває підстилаючий ґрунт – це призводить до втрати стійкості дорожнього чи бетонного покриття під навантаженням, в результаті чого виникають провали ґрунту. Такі провали провокують значні матеріальні збитки і не рідко є причиною серйозних людських травм (рис. 2).



**Рисунок 2 – Провали ґрунту в результаті підповерхневих витоків з підземних теплових мереж безканальної прокладки**

Застосування для безканальної прокладки попередньо ізольованих труб з ППУ-ізоляцією теоретично суттєво мало б зменшити аварійність тепломереж. Втрати тепла в трубах такої конструкції мінімальні, труби в ППУ-ізоляції практично не схильні до дії блукаючих струмів. Сама конструкція «труба в трубі» дозволяє повністю виключити зовнішню корозію трубопроводу.

Крім вищезгаданого, нові конструкції тепломереж, які виконані з попередньо ізольованих труб із ППУ-ізоляцією, мають ще одну важливу перевагу – систему оперативного дистанційного контролю (СОДК) за зволоженням ізоляції. Правильно працююча система дає змогу своєчасно реагувати на порушення цілісності металеві труби або поліетиленового гідроізоляційного покриття і заздалегідь запобігати появі витіку та створенню аварійної ситуації. Основний принцип роботи системи ОДК полягає в

зміні електропровідності теплоізоляційного шару з пінополіуретану при зволоженні. Контроль стану ізоляції полягає у вимірюванні опору сигнальних проводів, прокладених в теплоізоляційному шарі між металевією трубою та поліетиленовою або оцинкованою оболонками відносно металевієї труби (рис. 3).



**Рисунок 3 – Реалізація системи оперативного дистанційного контролю за зволоженням ізоляції ППУ-трубопроводів**

Проте реальна ситуація для тепломереж безканальної прокладки з трубопроводами в ППУ-ізоляції не є такою обнадійливою. В переважній більшості дані мережі з метою економії прокладаються без систем ОДК або дана система не функціонує через низьку якість монтажних робіт. Ще більший ризик в експлуатації теплових мереж викликає використання ППУ-труб, що виготовлені з газонафтопровідних труб, які перебували в експлуатації [6]. Такі труби часто використовують через їх відносно дешевизну (50-60% від вартості нових ППУ-труб). Поєднання дефектів механічної, фізичної та корозійної природи в процесі попередньої експлуатації з важкими експлуатаційними умовами тепломережі може призвести до швидкої втрати цілісності трубопроводу і появи витоків. Уникнути аварійних ситуацій можна тільки шляхом систематичного інструментального обстеження теплових мереж [7, 8]. Для виявлення місць наскрізних витоків у трубопроводах теплових мереж існуючим нормативним забезпеченням регламентується застосування акустичного методу контролю [9]. Як акустичні засоби контролю використовуються кореляційний течешукачі (для виявлення витоків у трубопроводі шляхом безпосереднього контакту з ним) та акустичні детектори (локатори) для виявлення витоків з поверхні ґрунту. Однак, при локалізації витоків існують і певні труднощі [10, 11].

Розглянемо основні фактори, що перешкоджають застосуванню кожного виду акустичних засобів контролю.

Кореляційні течешукачі:

- ускладнений доступ до місця установки вимірювальних перетворювачів;
- затоплення трубопроводів в місці установки вимірювальних перетворювачів;
- акустичні завади від працюючого устаткування, місцевих акустичних опорів;

- опір трубопроводу проходженню акустичного сигналу;
- значний ступінь розсіювання енергії поверхневих акустичних хвиль через сильну адгезію ППУ-ізоляції до металевієї поверхні трубопроводу;
- наявність не однієї, а декількох акустичних хвиль, які розповсюджуються від місця витоку до вимірювальних перетворювачів;
- наявність вираженої просторової чутливості вимірювальних перетворювачів до різних акустичних хвиль.

Акустичні детектори:

- недостатній тиск або витрата теплоносія через отвір в трубопроводі для створення необхідних гідродинамічних та акустичних параметрів струменя;
- витікання відбувається під неушкоджену гідроізоляцію;
- особливості ґрунту сприяють загасанню акустичних коливань;
- неможливо виділити корисний сигнал на фоні зовнішніх акустичних завад;
- рівень затоплення каналу не дає можливості отримати достатню акустичну потужність в місці виходу струменя з трубопроводу;
- неможливий доступ до поверхні ґрунту над тепловою мережею (дорожнє покриття, сніговий покрив).

Враховуючи значні недоліки акустичних методів, авторами статті пропонується застосування іншого підходу для вирішення актуальної задачі діагностування витоків у тепломережах. Для виявлення місць витоків теплоносія з теплотрас безканальної прокладки пропонується застосувати принципи, які широко використовуються в геодезичній практиці – аналіз характеру розподілу природних електромагнітних полів у приповерхневій області Землі.

Електромагнітне поле Землі на геометричних і фізичних неоднорідностях зазнає відхилення і заломлення. Електричні і магнітні компоненти поля заломлюються обернено пропорційно відповідно до  $\sqrt{\epsilon}$  і  $\sqrt{\mu}$ , тобто коефіцієнт заломлення при наявності геометричних або фізичних границь розділу двох середовищ рівний:

$$n = \frac{\sqrt{\epsilon_2 \mu_2}}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_1}}, \quad (1)$$

де  $\epsilon_1$  і  $\epsilon_2$  – діелектричні проникності першого і другого середовища, відповідно;

$\mu_1$  і  $\mu_2$  – магнітні проникності середовищ, відповідно.

Діелектрична проникність ґрунту змінюється від одиниць до десятків одиниць, а для теплоносія –  $\epsilon_{води} \approx 81$ . Магнітна проникність ґрунту і теплоносія лежить в межах від одиниці до двох.

Відповідно до результатів експериментальних досліджень [8] над поверхнею Землі на висоті до 2м утворюються аномалії електромагнітного поля Землі за рахунок заломлення силових ліній поля на неоднорідностях ґрунту, на



границі розділу різних ґрунтів і на границі розділу «Земля-повітря». Особливо значний ефект заломлення спостерігається на обводнених неоднорідностях, якими і є підповерхневі витоки теплоносія з мережі.

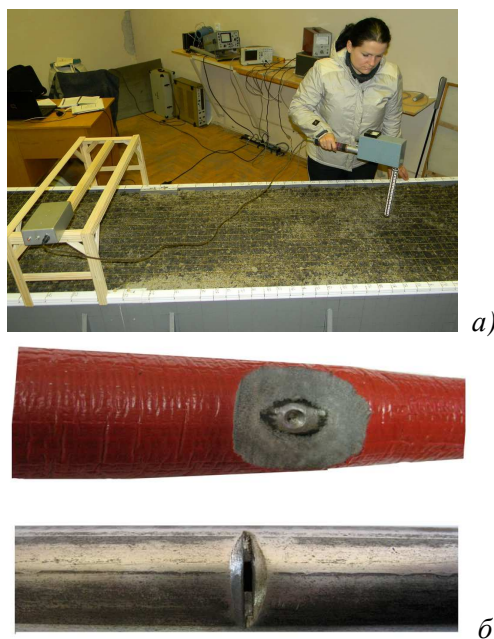
Суттєвий вплив на можливість реєстрації зміни електромагнітного поля Землі, яка викликана аномаліями в підповерхневому шарі, спричиняє висота переміщення реєструючого пристрою над поверхнею Землі. Згідно з проведених досліджень [12] найбільш ефективною є висота від 0,5 до 0,7 м (нижче заважає нерівність поверхні і рослинність). Збільшення висоти переміщення реєструючого пристрою вище за 0,7 м веде до значного зниження чутливості, що пов'язано з ефектом вирівнювання силових ліній електромагнітного поля Землі над поверхнею.

Враховуючи значну зміну діелектричної проникності на границі розділу «ґрунт-рідина», доцільно як інформативний параметр реєстрації над поверхнею Землі обрати напруженість електричної компоненти електромагнітного поля у приповерхневій області. Для експериментальної перевірки запропонованого підходу щодо виявлення підповерхневого витоку теплоносія з теплотраси шляхом визначення аномалії розподілу електричної компоненти електромагнітного поля в приповерхневій області було проведено експериментальні дослідження на дослідній установці [13]. Дана установка повністю імітує роботу підземної двотрубної мережі безканальної прокладки і має змогу створювати і досліджувати різноманітні дефекти в тілі трубопроводу і шарах ізоляцій. На рис. 4 показано процес вимірювання напруженості електричного поля в приповерхневій області дослідної установки і вставки з імітацією дефектів, через які відбувається витік теплоносія.

В результаті проведених досліджень отримано профілі розподілу напруженості електричної компоненти (електричного поля) електромагнітного поля Землі над тепломережею в приповерхневій області. На рис. 5 проілюстровано отриманий поперечний профіль розподілу напруженості електричного поля над досліджуваною тепломережею в місці витоку теплоносія.

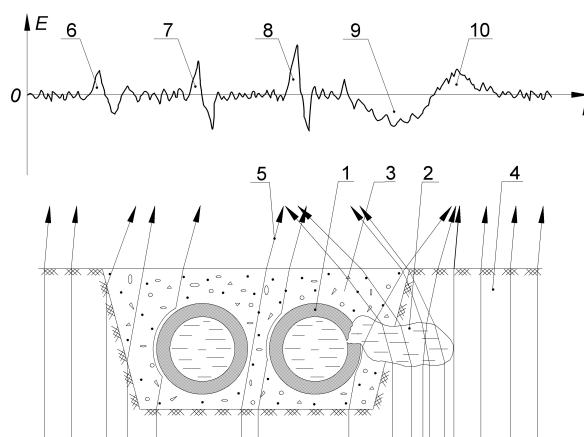
Відповідно до наведених результатів експериментальних досліджень (рис. 5) можна зробити висновки, що за допомогою запропонованого методу аналізу величини розподілу електричної компоненти природного електромагнітного поля Землі чітко визначаються аномалії, які пов'язані з плановим положенням тепломережі (вісь трубопроводу, краї траншеї) і значним перезволоженням ґрунту, що напряду пов'язані з підповерхневим витоком теплоносія.

Серійних приладів для реєстрації електричної компоненти природного електромагнітного поля Землі, які можна застосувати для наведеної задачі, на даний час не існує. Окремими групами науковців проводяться спроби з розробки такого обладнання [14, 15].



а – вимірювання розподілу напруженості електричного поля над досліджуваною тепломережею; б – вставки-імітатори наскрізних пошкоджень тепломережі

**Рисунок 4 – Проведення експериментальних досліджень для розробки методики виявлення місць підповерхневих витоків підземних тепломереж безканальної прокладки з поверхні землі**



1 - трубопровід тепломережі; 2 - обводнений ґрунт в місці витоку; 3 - ґрунтова засипка в траншеї теплотраси; 4 - нерозпушений ґрунт; 5 - силові лінії природного електромагнітного поля Землі; 6 - зареєстрована аномалія електричного поля на краю траншеї; 7, 8 - зареєстровані аномалії електричного поля по вісі пролягання металічних трубопроводів тепломережі; 9 - зареєстрована аномалія електричного поля в місці витоку теплоносія; 10- зареєстрована аномалія електричного поля в місці обводненого ґрунту

**Рисунок 5 – Поперечний профіль розподілу напруженості електричної компоненти природного електромагнітного поля Землі над досліджуваною тепломережею в місці витоку теплоносія**

Авторами статті розроблено пристрій для вимірювання параметрів електричної компоненти природного електромагнітного поля Землі (напруженості та фазового зсуву), який представляє собою високочутливий вимірювач геомагнітного поля Землі (з частотами до кількох Герц) в зонах розтягання і стиснення ґрунтів, сейсмічної активності та процесів зсуву, а також електростатичного поля на поверхні Землі, зумовленого електрокінетичними процесами фільтрації та переміщення ґрунтових вод.

Окрім реєстрації підземного витоку з тепломережі, пристрій можна застосувати для пошуку металевих і неметалевих трубопроводів під землею, снігом, льодом, бетонними і асфальтовими покриттями. Також пристрій дає змогу знаходити водяні жили і витоки рідини з підземних трубопроводів. На відміну від існуючих трасошукачів, які працюють з використанням акустичних та електромагнітних хвиль і які є чутливі до акустичних та електромагнітних завад, пристрій дає змогу працювати в умовах міського і промислового шуму. Пристрій пасивний і не потребує випромінювачів, що опускаються в експлуатаційні колодязі чи приєднуються до трубопроводів.

Фізичне явище, на основі якого працює пристрій, є малодослідженим, однак, досить успішно застосовується для пошуку трубопроводів, водяних жил, пустот та інших об'єктів під землею. Йдеться про утворення так званих геофізичних аномалій в місцях розриву суцільного шару ґрунту, тобто в місцях розташування в ньому об'єктів з іншою густиною, виникають певні механічні напруження, наслідком яких є концентрація електричних зарядів у вигляді електронної хмари на поверхні ґрунту над об'єктом (трубопроводом). Зафіксувати такі напруження (аномалії) можна дуже чутливим селективним сенсором, який здатен зреагувати на потенціал величиною  $10^{-8}$  В.

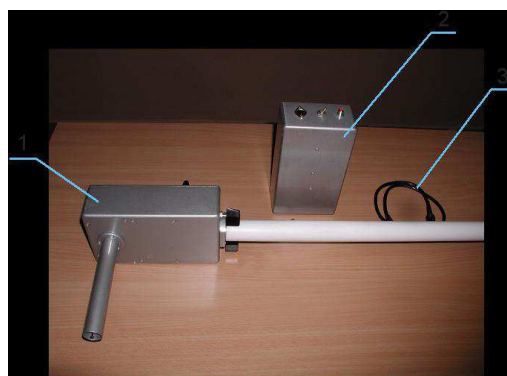
Оскільки пристрій призначений для вимірювати полів з дуже низькою інтенсивністю, то у нього повинен бути значний коефіцієнт підсилення по напрузі. При цьому, враховуючи вузький діапазон низьких частот (0,01 – 10 Гц), ця напруга буде практично постійною. Для підсилення постійної напруги у значну кількість разів принцип прямого підсилення застосувати не вдалося, оскільки шуми підсилювальних каскадів були значно більшими за рівень корисного сигналу. Тому нами застосовано принцип модуляції – демодуляції (перетворення постійної напруги у змінну, її підсилення у значну кількість разів, а потім зворотне підсилення у постійну напругу). Внаслідок того, що при підсиленні змінних сигналів шуми підсилювальних каскадів є дуже малими, вдалося значно підсилити сигнал постійного струму при мінімальних його спотвореннях.

В якості інформативних використовуються два параметри пристрою: інтеграл фазового зсуву на частоті прийому, величина якого змінюється на границі переходу середовищ (ґрунт – труба), та напруженість електростати-

чного поля. При чому фазові зсуви від геофізичних аномалій типу розрив чи зсув ґрунту суттєво відрізняються від фазових зсувів від підземних об'єктів чи водяних жил. Це забезпечило певну селективність вимірювань.

При розробці конструкції пристрою враховувалось те, що він має бути мобільним, не важким і зручним у користуванні. Тому блоки вимірювання та індикації пристрою розміщені в герметичному переносному вимірювальному блоці з довгою ручкою для зручності користування. Акумулятор та перетворювач напруги з +12В у напруги  $\pm 15$ В розміщено в окремому екранованому блоці перетворення, який може розміщуватись на поясі оператора.

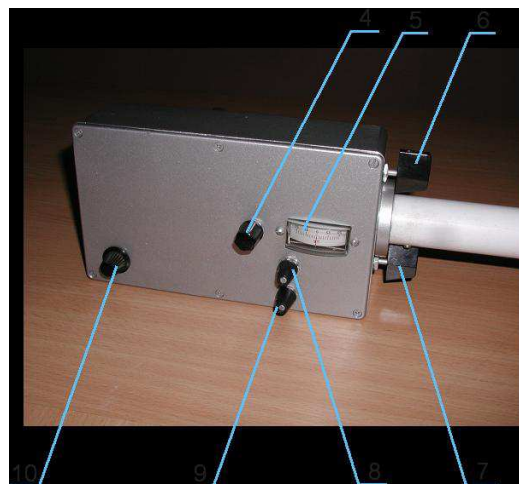
Конструктивно розроблений пристрій складається з вимірювального блоку 1, блоку перетворення 2 та з'єднувального кабеля 3 (рис. 6).



1 – вимірювальний блок, 2 – блок перетворювача напруги, 3 – з'єднувальний кабель

**Рисунок 6 – Пристрій для виявлення місць витоків у підземних теплових мережах безканалльної прокладки**

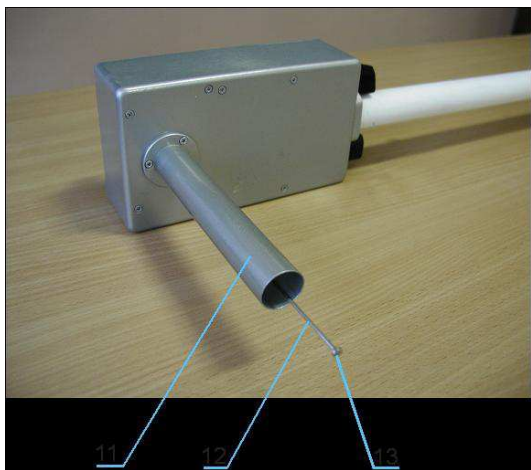
Вимірювальний блок має такі органи управління (рис. 7): регулятор чутливості - 4, індикатор - 5, фільтр пори року - 6, фільтр корекції шуму - 7, регулятор зворотного зв'язку (грубо) - 8, регулятор зворотного зв'язку (точно) - 9, регулятор частоти опорного генератора - 10.



**Рисунок 7 – Органи управління вимірювального блоку пристрою для виявлення місць витоків у підземних теплових мережах безканалльної прокладки**

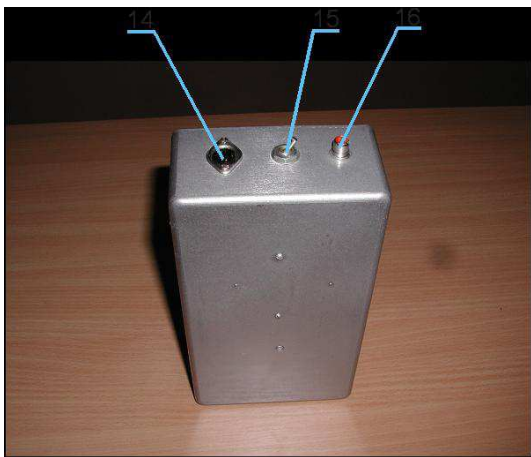


Вимірювальна антена пристрою (рис. 8) є телескопічною і має можливість заміни вимірювальних головок. Це дає змогу в широкому діапазоні змінювати чутливість пристрою і площі досліджуваних ділянок місцевості. До складу вимірювальної антени пристрою (рис. 8) входять: циліндричний протизавадний екран - 11, телескопічна антена - 12 та вимірювальна головка 13, розміщена на різьбі з можливістю заміни на іншу.



**Рисунок 8 – Конструкція антени вимірювального блоку пристрою для виявлення місць витоків у підземних теплових мережах безканалльної прокладки**

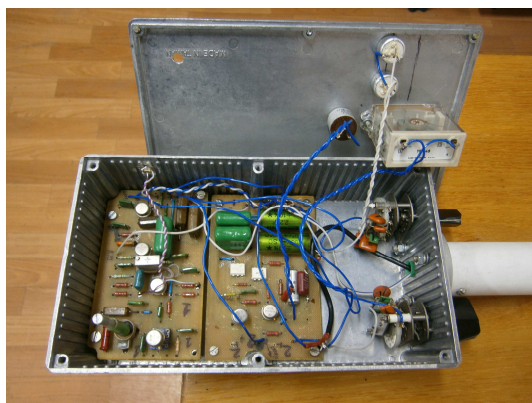
На корпусі блоку перетворення (рис. 9) розміщені: гніздо для з'єднувального кабелю 14, перемикач заряд-робота - 15 та гніздо для зарядки акумулятора - 16.



**Рисунок 9 – Блок перетворення пристрою для виявлення місць витоків у підземних теплових мережах безканалльної прокладки**

Пристрій виконано на аналогових і цифрових дискретних елементах з використанням сучасних вимог до монтажу та екранування. Внутрішню будову вимірювального блоку пристрою наведено на рис. 10.

Пристрій є повністю мобільним і обслуговується одним оператором. Основні технічні характеристики пристрою наведено в таблиці 1.



**Рисунок 10 – Внутрішня будова вимірювального блоку пристрою для виявлення місць витоків у підземних теплових мережах безканалльної прокладки**

Проведення вимірювань здійснюється наступним чином.

При роботі з пристроєм треба починати пересування вимірювального блоку 1 з повністю виведеною назовні антеною у напрямі пошуку паралельно поверхні ґрунту з постійною швидкістю.

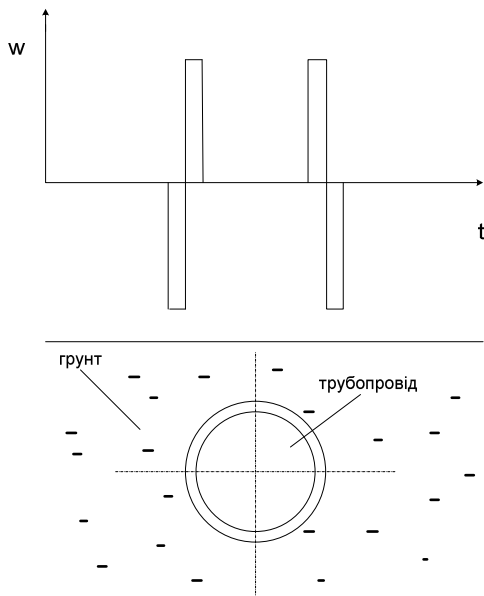
Коли відбудеться входження антени вимірювального блоку 1 в зону електромагнітної аномалії з'явиться приріст різниці фаз відносно значення, прийнятого за рівень завад, а також з'явиться електростатичне поле певної напруженості. Схему отримання сигналу зміни фазового зсуву проілюстровано на рис. 11. З рис. 11 видно, що при пошуку трубопроводу даним методом пристрій індикуює зміну фазового зсуву два рази, тобто показує дві умовні лінії, які називаються основними. Крім цього, можна зафіксувати також краї траншеї та бічні лінії. Бічні лінії – це лінії вторинних сигналів, які знаходяться на відстані, що дорівнює глибині пролягання трубопроводу, паралельно до нього. Пристрій може працювати в двох режимах – пошуку траси пролягання тепломережі та виявлення місця витoku.

Вимірювання при пошуку траси пролягання тепломережі потрібно проводити за спеціальною методикою, згідно з якою необхідно рухатись з пристроєм зигзагоподібно, перетинаючи лінію пролягання трубопроводу через певні інтервали. Також потрібно з деякою періодичністю фіксувати лінії вторинних сигналів, які слугуватимуть перевіркою правильності вибору комунікації (рис. 12). Отримуючи таким чином дані та роблячи помітки над трубопроводом через кожні 5 метрів, фіксується лінія його пролягання в ґрунті.

Щоб побудувати карту пролягання трубопроводу, виміряні дані заносяться в ПЕОМ. Методом побудови лінії тренду складається модель траєкторії пролягання трубопроводу. Для уточнення її може застосовуватись модель, отримана після обробки даних з термограми досліджуваної ділянки, а також модель, побудована на основі досліджень акустичним методом.

**Таблиця 1 – Основні технічні характеристики пристрою для виявлення місць витоків у підземних теплових мережах безканальної прокладки**

№ з/п	Технічні характеристики пристрою	Величина
1	Максимальний коефіцієнт підсилення	$5 \cdot 10^8$
2	Коефіцієнт послаблення синфазної напруги, дБ	90
3	Вхідний струм, пА	100
4	Вхідний опір, МОм	500
5	Середній температурний дрейф напруги, мкВ/°С	0,3
6	Напруга живлення вимірювального блоку, В	$\pm 15$
7	Напруга живлення блоку перетворення, В	+12
8	Час неперервної роботи, год	20
9	Споживана потужність, Вт	2
10	Діапазон частот опорного генератора, кГц	3...12
11	Діапазон робочих температур, °С	+3...+40
12	Вага вимірювального блоку, кг	1,4
13	Вага блоку перетворювача, кг	2
14	Тип антени	телескопічна
15	Динамічний діапазон індикації, дБ	40



**Рисунок 11 - Схема отримання сигналу зміни фазового зсуву на границі переходу середовищ (грунт – труба)**

При виявленні місця витоків з тепломережі безканальної прокладки рух потрібно здійснювати паралельно одному з трубопроводів, але на відстані, що є половиною віддалі від бічної лінії трубопроводу до його осі. При проходженні над зоною зволоженого витоків ґрунту буде фіксуватись зміна фази і амплітуди сигналу (рис. 5, 11). Зафіксувавши це місце, необхідно пройти далі для визначення поздовжнього розміру зони. Потім, повернувшись, необхідно відійти на 0,5 м далі від осі трубопроводу в бік його бічної лінії і знову повторити вимірювання, визначивши наступні розміри зони підповерхневого витоків теплоносія. Такі вимірювання необхідно проводити до того часу, поки не будуть встановлені геометричні розміри зони.

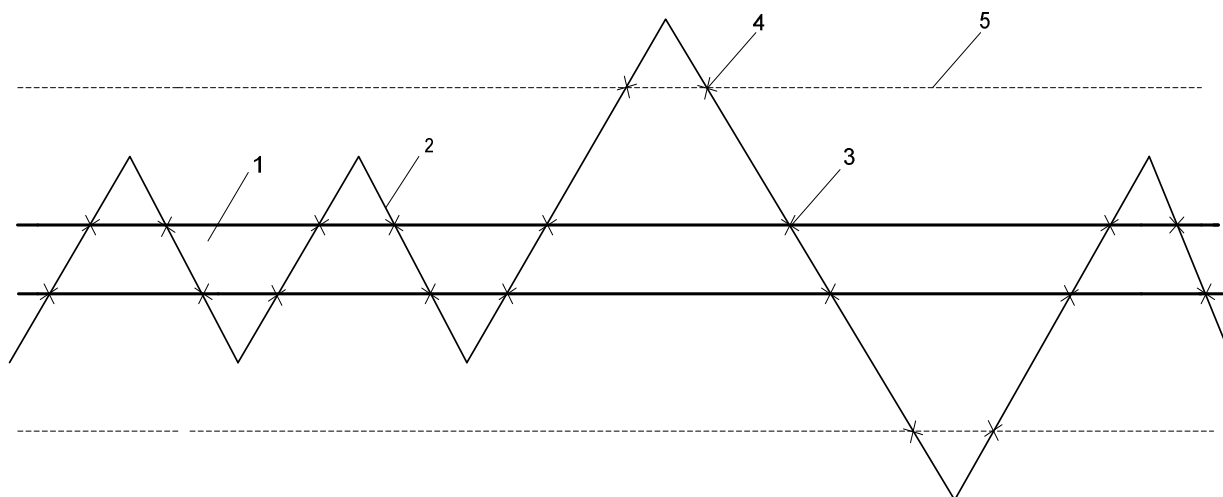
Оскільки сигнал фазового зсуву є більш чітким, то він є основним при проведенні досліджень, а сигнал напруженості електростатичного поля, внаслідок певної плавності наростання, є додатковим.

## ВИСНОВКИ

Враховуючи зростаючу аварійність теплових мереж з трубопроводами в ППУ-ізоляції та недоліки існуючих акустичних методів контролю, розроблено пристрій для безконтактного виявлення місць витоків у підземних теплових мережах безканальної прокладки. Пристрій дає змогу працювати як в режимі трасошукача, так і в режимі виявлення підповерхневих витоків теплоносія при дії значних акустичних і електромагнітних завад. Застосування розробленого пристрою, у порівнянні з існуючими, дозволить суттєво скоротити час на пошук осі пролягання тепломережі та виявлення місця витоків, що допоможе запобігти серйозним аваріям і зекономити енергоресурси.

## Література

- 1 Правила технічної експлуатації теплових установок і мереж. – Офіц. вид. – К.: М-во палива та енергетики України, 2007.
- 2 Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води: НПАОП 0.00-1.11-98. – [Чинний від 2007-10-01]. – Комітет з нагляду за охороною праці М-ва праці та соц. політики України: із змінами від 2007-10-01. – Х.: Індустрія, 2008. – 128 с.
- 3 Теплові мережі: ДБН В.2.5-39-2008. – [Чинний від 2009-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 55 с.
- 4 Трубопроводи попередньо теплоізолювані спіненим поліуретаном для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж. Труби, фасонні вироби та арматура. Технічні умови:



1 – трубопровід, 2 – лінія руху оператора під час вимірювань, 3 – місце отримання первинного сигналу – основна лінія трубопроводу, 4 – місце фіксації вторинного сигналу, 5 – бічна лінія трубопроводу

**Рисунок 12 – Схема проведення вимірювання при пошуку траси пролягання теплової мережі безканальної прокладки**

ДСТУ Б В.2.5-31:2007. – [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 103 с.

5 Машенков А. Н. О контроле состояния тепловых сетей / А.Н. Машенков, А.В. Филимонов // Новости теплоснабжения. – 2003. – №10. – С. 37-40.

6 Опасность применения труб, бывших в использовании, при производстве труб ППУ изоляции / Павлюк С.К., Лупачев В.Г., Лупачев А.В., Стеклов О.И. [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2397](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2397).

7 Типовая инструкция по периодическому техническому освидетельствованию трубопроводов тепловых сетей в процессе эксплуатации: РД 153-34.0-20.522-99.

8 Державний комітет будівництва архітектури та житлової політики України. Наказ №123 від 09.06.98 «Про затвердження Правил обстежень, оцінки технічного стану, паспортизації та проведення планово-попереджувальних ремонтів теплових мереж і споруд до них».

9 Методические рекомендации по техническому диагностированию трубопроводов тепловых сетей с использованием акустического метода: РД 153-34.0-20.673-2005.

10 Филимонов, А. В. Течеискатели для поиска утечек на тепловых сетях. Опыт регионов / А.В. Филимонов, Ю.В. Никитенко. // Новости теплоснабжения. – 2009. – №5. – С.49-51.

11 Владимирский А.А. Уточнение диагностической модели трубопровода для повышения достоверности течеискания / А.А. Владимирский, И.А. Владимирский, Д.Н. Семенюк // Акустичний вісник. Інститут гідромеханіки НАН України. – 2005. – Том 8, № 3. – С. 3-16.

12 А.с. 1073727 СССР. Способ обнаружения неоднородностей в приповерхностном слое Земли / В.С. Ямщиков, С.М. Ильенко, Е.Г. Соболев. – №3494327 / 18-25; заявл. 28.09.82; опубл. 15.02.84, Бюл. №6.

13 Ващишак І.Р. Розробка установки для дослідження підземних двотрубних теплових мереж з імітацією дефектів / І.Р. Ващишак // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Х.: Техніка, 2011. – Вип. 101. – С. 199-207. – (Серія «Технічні науки і архітектура»).

14 Підгірняк Я.Є. Вимірювання електричного поля трубопроводу / Я.Є. Підгірняк, О.А. Луцик, О.М. Семенюк // 17 Міжнародна науково-технічна конференція «Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів ЛЕОТЕСТ-2012», (20-25 лютого 2012 р.): Матеріали конференції. – Львів. – 2012. – с. 149-151.

15 Давлетов М.И. Результаты применение геофизического прибора ИГА-1 в геоэкологии, геодинамике, трубопроводном транспорте Башкирии / М.И. Давлетов, Г.Т.Г. Турикешев, Ю.П.Кравченко // Материалы VIII Межрегиональной геологической конференции "Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий", г.Уфа, ИГ УНЦ РАН, ноябрь 2010 г. – С. 106-108.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
23.01.13

Рекомендована до друку  
професором **Райтером П.М.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Маруцаком П.О.**  
(Тернопільський національний технічний  
університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль)