

Запропонована корисна модель стосується методів пошуку витоків з інженерних мереж (вода, тепло) і належить до комунального господарства (водопостачання та водовідведення, тепlopостачання), приладобудування. Методи пошуку витоків з інженерних мереж належать до широких областей знань та інженерії, таких як:

житлово-комунальне господарство (ЖКГ) - основна практична область, оскільки саме організації ЖКГ займаються експлуатацією та обслуговуванням водопровідних, каналізаційних та теплових мереж у містах та населених пунктах;

діагностика та неруйнівний контроль: багато сучасних методів (наприклад акустичний пошук, тепловізійна зйомка, використання трасувальних газів) ґрунтуються на принципах неруйнівного контролю;

приладобудування та метрологія: розробка спеціалізованого обладнання для пошуку витоків (кореляторів, течієшукачів, тепловізорів) належить до цих галузей.

Виявлення аварійних витоків з підземних інженерних мереж передбачає використання комплексу сучасних неруйнівних методів, які дозволяють точно локалізувати місце пошкодження без масштабних земляних робіт і значних фінансових ресурсів.

Вибір конкретного методу залежить від типу інженерної мережі (вода, тепло), матеріалу труб, глибини залягання та характеристик ґрунту.

Для виявлення витоків рідин застосовують цілий ряд способів, описаних в [1-3], зокрема:

1. Візуальний огляд та шурфування місць можливих витоків виявлення слідів води або ґрунтових просідань, особливо при явних ознаках витoku (наприклад просідання ґрунту, постійна вологість). Шурфування (контрольне розкриття ґрунту) застосовують для підтвердження та ремонту після локалізації місця витoku іншими методами.

2. Інструментальні методи з використанням кореляторів та акустичних приладів для реєстрації звуків витoku води під землею; спеціальних датчиків, що фіксують шум від струменів води під тиском; спеціальних датчиків, для тепловізійного контролю (інфрачервона термографія) з метою виявлення ділянок з аномальною температурою (для тепломереж або ґрунту, прогрітого водою).

3. Метод трасування застосовується для пошуку витоків у водопровідних та теплових мережах, а також у газопроводах.

4. Серед багатьох згаданих способів визначення місця витoku рідин з інженерних мереж близьким за суттю до запропонованої корисної моделі є тепловізійний метод, вибраний як найближчий аналог. Він є визнаним неруйнівним методом контролю, який широко використовується в енергетичному аудиті та будівництві. В Україні застосування цього методу регулюється низкою державних стандартів та будівельних норм [4].

Тепловізійний метод для теплових мереж та систем гарячого водопостачання полягає в тому, що за допомогою тепловізорів сканують поверхню землі або будівельні конструкції. Використовують спеціальні камери, що працюють в інфрачервоному діапазоні спектра та візуалізують різницю температур на поверхні. Вони можуть бути ручними або встановлюватися на дрони для аерофотозйомки. Місця витоків теплоносія мають підвищену температуру, що чітко видно на тепловій карті. Ці прилади дозволяють фахівцям локалізувати пошкодження, мінімізуючи обсяги земляних робіт.

Об'єкт діагностики має бути доступним для прямого або опосередкованого спостереження. Для успішної ідентифікації витoku необхідна різниця температур між рідиною, що витікає, та навколишнім середовищем (рекомендована різниця щонайменше 5-10 °C). Оператор сканує поверхню за допомогою тепловізора.

На термограмі аналізуються аномалії. Місце витoku гарячої рідини (наприклад із системи опалення) буде виглядати як локальна ділянка з підвищеною температурою (яскрава пляма на екрані). Витік холодної води проявляється як холодна аномалія. За допомогою програмного забезпечення тепловізора або візуального аналізу визначається точне місце витoku.

Перевагою такого способу є те, що він не потребує демонтажу конструкцій чи розкопування ґрунту, діагностика великих площ займає мінімум часу, дозволяє локалізувати витік.

Однак, тепловізійному методу властивий ряд суттєвих недоліків, до яких можна віднести наступні:

1. Залежність від перепаду температур (температурний контраст).

Це, мабуть, найважливіший недолік методу, тому що тепловізор виявляє лише різницю температур. Якщо рідина, що витікає, має таку ж температуру, як і матеріал, що її оточує (наприклад ґрунт або бетон), витік залишиться невидимим на термограмі. Тому метод є малоефективним для пошуку витоків холодної води в літній період або там, де рідина встигла охолонути чи нагрітися до температури навколишнього середовища.

2. Обмеження проникнення та матеріалів.

Неможливість "бачити крізь" тепловізор фіксує температуру поверхні об'єкта. Він не може "бачити крізь" стіни, товстий шар ґрунту, металеві екрани або інші перешкоди. Він лише показує непрямі ознаки витoku через теплопровідність матеріалу, що може знижувати точність локалізації, якщо витік знаходиться глибоко.

Коефіцієнт емісії: різні матеріали по-різному випромінюють інфрачервоне випромінювання. Точність вимірювання залежить від правильного налаштування цього коефіцієнта на приладі. Блискучі, поліровані металеві поверхні, наприклад, погано вимірюються тепловізорами.

3. Висока вартість обладнання та кваліфікація персоналу.

Ціна приладів з високою роздільною здатністю та чутливістю, необхідні для точної діагностики, коштують дорого (від 100 000 грн і вище). Для коректної інтерпретації термограм, відрізнєння реальних витоків від теплових містків, віддзеркалень чи інших аномалій потрібна спеціальна підготовка та досвід оператора. Неправильна інтерпретація може призвести до хибних висновків.

4. Вплив зовнішніх факторів та умов навколишнього середовища.

Точність вимірювань дуже залежить від умов проведення зйомки, тому що пряме сонячне світло нагріває поверхні нерівномірно, створюючи хибні температурні аномалії, які можуть маскувати або імітувати витік.

Вплив вологості поверхні - волога випаровується і охолоджує поверхню (ефект випарного охолодження), що може спотворити реальну картину розподілу тепла від витoku. Погодні умови: сильний вітер або опади можуть швидко змінити температуру поверхні, ускладнюючи або унеможливаючи діагностику.

Задачею корисної моделі є усунення недоліків, характерних як для аналогів, так і для найближчого аналога, з метою створення нового методу визначення витoku рідин з інженерних мереж, значно дешевшого, простого в користуванні термоелектричного методу, що дозволяє за величиною зміни величини питомого теплового потоку за профілем ґрунту на поверхні ґрунту, прямим способом визначати місце витoku рідини з інженерних мереж.

Поставлена задача вирішується тим, що один із суттєвих недоліків, властивих найближчому аналогу (залежність від вологості ґрунту), використовується як позитивний фактор для запропонованої корисної моделі.

У корисній моделі запропоновано новий метод фіксації витоків із підземних інженерних мереж, який відрізняється від відомих тим, що локалізацію витoku у місці очікуваного витoku визначають шляхом термоелектричного перетворення величини питомого теплового потоку на поверхні ґрунту за допомогою термоелектричного модуля, який працює на ефекті Зеебека, в електричний сигнал, здійснюють його реєстрацію, та порівняння із аналогічними сигналами на суміжних ділянках поверхні ґрунту.

У заявленій корисній моделі запропоновано новий метод визначення місця витоків із підземних інженерних мереж, який відрізняється від відомих тим, що локалізація місця витoku визначається шляхом термоелектричного прямого перетворення величини питомого теплового потоку на поверхні ґрунту у місці очікуваного витoku в електричний сигнал, його реєстрацію та порівняння із аналогічними сигналами на суміжних ділянках поверхні ґрунту.

Суть термоелектричного методу полягає в наступному:

Із теплофізики ґрунтів [5], відомо, що основними характеристиками ґрунту є теплопровідність, теплоємність та тепловий потік у профілі ґрунту.

Зв'язок між тепловим потоком у ґрунті та його вологістю описується законом Фур'є для теплопровідності, де вологість істотно впливає на ключовий параметр - коефіцієнт теплопровідності ґрунту. Аналітичний вираз формули Фур'є має вигляд:

$$q = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right),$$

де q - питомий тепловий потік (густина теплового потоку): кількість тепла, що проходить через одиницю площі за одиницю часу; λ - коефіцієнт теплопровідності ґрунту; $\partial T / \partial n$ - градієнт температури (швидкість зміни температури з глибиною, або в певному напрямку). Знак мінус вказує, що тепло завжди рухається від більш теплої зони до більш холодної (протилежно до напрямку зростання температури).

Залежність коефіцієнта λ від вологості не має прямої простої формули, яка б універсально пов'язувала лише q і λ без інших параметрів. Натомість, розроблені численні емпіричні та півемпіричні моделі, які описують, як саме коефіцієнт теплопровідності змінюється залежно від об'ємної вологості ґрунту та інших властивостей (пористість, мінеральний склад, щільність).

Однак, усі моделі зводяться до того, що тепловий потік прямо пропорційний коефіцієнту λ , який, у свою чергу, є складною нелінійною функцією об'ємної вологості ґрунту.

Вода є значно кращим провідником тепла, ніж повітря (яке займає пори в ґрунті). Вона заповнює пори, витісняючи повітря. Це створює більш суцільні шляхи для передачі тепла, що призводить до високої теплопровідності.

Саме ця особливість теплофізичних процесів, що мають місце у ґрунті, дозволяє реалізувати новий - термоелектричний метод визначення місця витoku рідин із підземних інженерних мереж.

У місцях витoku рідин із підземних мереж суттєво змінюється величина теплового потоку до поверхні землі у зв'язку із зростанням вологості ґрунту за його профілем. У ґрунті природного складу

завжди існує тепловий потік [5], напрям якого може змінюватися на протилежний. Незалежно від напрямку теплового потоку величину питомого теплового потоку на поверхні ґрунту можна просто, швидко і з великою точністю визначати за допомогою використання термоелектричного ефекту Зеебека. Ефект Зеебека полягає у прямому перетворенні різниці температур, створеній тепловим потоком на термоелектричній батареї, в електричний сигнал [6], величину якого легко фіксувати з дуже великою (до одиниць мкВ і менше) точністю. Проводячи моніторинг поверхні ґрунту у місцях очікуваних витоків рідин, можна фіксувати місце витоку за зміною величини електричного сигналу, генерованого термоелектричною батареєю у місці із підвищеною теплопровідністю ґрунту через його зволоженість, порівняно із сусідньою поверхнею ґрунту, не зволоженою продуктами витоку за профілем ґрунту.

Особливістю вимірювання величини теплового потоку є те, що протягом певного періоду часу (наприклад доби) тепловий потік може змінювати свій напрямок на протилежний [5]. Однак, це не створюватиме проблем при визначенні його величини термоелектричним методом, тому що при цьому буде фіксуватися значення величини питомого теплового потоку з протилежним знаком. Це не впливатиме на визначення місця витоку, адже значення питомого теплового потоку будуть порівнюватись із аналогічними його значеннями на суміжних з місцем витоку поверхнях ґрунту.

Слід зазначити, що запропонований термоелектричний метод при визначенні місця витоку дозволяє визначати його не лише за зміною величини питомого потоку, а й за різницею температури. Основним інструментом для реалізації запропонованого методу є термоелектричний модуль, для якого наперед встановлені залежності вихідної електрорушійної сили від величини питомого теплового потоку і різниці температури на його робочих поверхнях, що мають прямолінійні залежності.

Промислове використання запропонованої корисної моделі не вимагає спеціальних технологій і матеріалів, а його реалізація можлива на існуючих підприємствах термоелектричного приладобудування.

Таким чином, запропонований термоелектричний метод, у якого відсутні недоліки, характерні для найближчого аналога, дозволяє значно простіше, набагато швидше і дешевше визначати місця витоку рідин із підземних інженерних мереж. Для його реалізації не потрібна висока кваліфікація і спеціальна підготовка персоналу та дороге обладнання. Вартість обладнання для його реалізації не перевищує 2-3 тис. грн, що на порядок-два менше за інші методи.

Експериментальне підтвердження працездатності методу запропонованого в корисній моделі, проводилось в Інституті термоелектрики Національної академії наук та Міністерства освіти і науки України, який має значний досвід у дослідженнях теплофізики ґрунтів та термоелектричних приладів, що їх використовують [7]. Дослідження, проведені при визначенні витоку із підземного водопроводу на території Інституту у вересні поточного року, підтвердили високу ефективність термоелектричного методу для локалізації місця витоку.

Джерела інформації:

1. ДСТУ-Н Б В.2.5-35:2007. Теплові мережі та мережі гарячого водопостачання з використанням попередньо теплоізолюваних трубопроводів. Настанова з проектування, монтажу, приймання та експлуатації. - 2007.

2. Заміховський Л.М, Штаєр Л.О. Метод виявлення витоків з трубопроводу при односторонньому доступі до середовища транспортування: техн. доп./Л.М. Заміховський, Л.О. Штаєр. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2007. - [Електрон, ресурс]. - URL: <https://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/1343/3/1716p.pdf> (дата звернення: 18.12.2025).

3. Про затвердження Правил технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України: Наказ Держжитлокомунгосп України від 05.07.1995 № 30//База даних "Законодавство України"/Верховна Рада України. - URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0231-95> (дата звернення: 18.12.2025).

4. ДСТУ-Н Б В.2.5-66:2012. Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості теплових мереж. - Київ: Мінрегіон України, 2013.

5. De Vries D.A. Thermal properties of soils. In: Physics of Plant Environment, ed. by W. R. van Wijk. Amsterdam, North-Holland Publishing Co., 1963. - P. 210-235.

6. Anatyshuk L.I. (2003). Thermoelectricity. Vol. 2. Thermoelectric power converters. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity.

7. Микитюк П.Д. Прилади термоелектричного перетворення теплової енергії ґрунту: дис. канд. фіз.-мат. наук: 01.04.01/П.Д. Микитюк. - Чернівці, 2004.