ISSN 1993-9981 Методи та прилади контролю якості, № 1 (30), 2013

МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДКОЇ І ГАЗОПОДІБНОЇ ФАЗ

УДК 621.643; 622.691.48

ВИБІР МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ВИТОКІВ ГАЗУ З ПІДЗЕМНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

Я. І. Вакалюк , О. М. Карпаш

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ 76019, тел. (0342) 50-47-08,
e-mail: barkas.if@gmail.com

Описані та обґрунтовані основні проблеми, які виникають при пошуку місць витоків газу з підземних газопроводів, основні причини появи витоків газу та визначено, які з них мають місце при витоках. Наведена класифікація методів, які застосовуються для виявлення місць витоків газу, виконано аналіз цих методів та описані їх основні недоліки. Запропоновані шляхи вирішення задачі пошуку місць витоків газу з підземних газопроводів, вибрано найперспективніший, на думку автора, метод дослідження на наявність витоків газу з трубопроводу та описані пропозиції по проведенню експериментальних досліджень для вирішення даного питання. Запропонований підхід до вирішення задачі пошуку місць витоків газу з підземних газопроводів на основі аналізу спектру акустичної емісії, а також пропозиції для подальшого дослідження даної проблеми.
Ключові слова: трубопровід, пошкодження, акустична емісія, навчально-науковий полігон, метод, експеримент, сигнал, шум.

Описаны и обоснованы основные проблемы, возникающие при поиске мест утечки газа с подземных газопроводов, основные причины появления утечек газа и определено, какие из них имеют место при утечках. Приведена классификация методов, применяемых для обнаружения мест утечек газа, выполнен анализ этих методов и описаны их основные недостатки. Предложены пути решения задачи по поиску мест утечек газа из подземных газопроводов, выбран наиболее перспективный, по мнению автора, метод исследования на наличие утечек газа из трубопровода, и описаны предложения по проведению экспериментальных исследований для решения данного вопроса. Предложен подход к решению задачи по поиску мест утечек газа из подземных газопроводов на основе анализа спектра акустической эмиссии, а также предложения для дальнейшего изучения данной проблемы.
Ключевые слова: трубопровод, повреждение, акустическая эмиссия, учебно-научный полигон, метод, эксперимент, сигнал, шум.

The main problems that can take place during gas leakage from buried gas pipelines searching and the main causes of gas leakage are described and justified, and it was specified which of them can be existed in the places of such leakages. The methods classification which can be used for gas leakage detection is done and the analysis of such methods with their mane disadvantages pointing is made. The problem issues for the places of gas leakage from buried gas pipelines searching are suggested, in the author's opinion, the advanced method of pipelines gas leakage places research is chosen, and suggestions for experimental studies realization for the main problem solution are described. An approach for problem solving of gas leakage from buried gas pipelines searching based on acoustic emission spectrum analyzing and suggestions for such problem further studying are proposed.
Keywords: pipeline, fault, acoustic emission, educational and scientific testing ground, method, experiment, signal, noise.

Вступ

Згубні наслідки аварій у газовій промисловості зумовлюють необхідність їх прогнозування та попередження. З цією метою, згідно з існуючими правилами і нормами з обслуговування газопроводів, у галузі передбачено цілий комплекс періодичних робіт, зокрема: контроль тиску та одоризації газу, перевірку наявності вологи і конденсату та їх видалення, щорічний контроль запірної арматури і компенсаторів, контроль за станом газопроводів шляхом обходу трас, обстеження за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури, поточний і капітальний ремонти. Відповідно до тих же існуючих правил і норм, обхід трас підземних газопроводів здійснюють лінійні обхідники лінійно-експлуатаційної служби. У нормативних документах досить детально визначено порядок розбиття на маршрути, оформлення завдань у вигляді маршрутної карти, види виконуваних робіт, комплектацію бригади обхідників.

Проте в існуючих методиках пошуку витоків і контролю наявності газу для інженерних підземних споруд є серйозні прогалини. Не забезпечують в достатній мірі належної уваги методикам пошуку витоків газу і сучасні спеціалізовані видання: довідники, посібники, підручники з газового господарства [1÷4]. Переважна більшість вказаної літератури лише відображає чинні нормативні документи й інструкції користувача щодо окремих засобів пошуку витоків газу. З огляду на це, відповідні дії експлуатаційних служб здебільшого зводяться до візуального контролю за станом обладнання і газопроводу за зовнішніми ознаками та виявлення явних витоків газу [5].

У світовій практиці застосовується значна кількість засобів для пошуку пошкоджень і визначення кількості втрат газу, але, окрім того, що вони не можуть забезпечити необхідної якості дослідження газопроводів, вони ще й здебільшого складні у користуванні та вимагають спеціальної підготовки персоналу.

Зважаючи на вище вказане, слід відмітити, що на даний час проблема визначення місць витоків та вимірювання кількості втрат газу з підземних газопроводів є надзвичайно актуальною і вимагає вивчення питання процесу витоків газу, включаючи процес його розтікання у ґрунті, його фільтрацію і його якісні характеристики при виході на поверхню, питання забезпечення підготовки персоналу для проведення ними необхідних пошукових заходів, а також питання розроблення, створення або удосконалення обладнання для пошуку витоків газу, яке задовольнятиме необхідні якісні показники.

Задача дослідження. Зазвичай втрати газу представляються як різниця між кількістю добутого (отриманого) і кількістю реалізованого (проданого) газу.

Ряд авторів цю різницю називають неврахованим газом, так як вона складається із дійсних (витоки газу) і хибних втрат (втрат внаслідок неправильного вимірювання кількості реалізованого газу). Хибні втрати частіше є наслідком неправильного (мінусового) розрахунку при витратах біля нижньої межі роботи вимірювальних засобів. Крім того, покази приладів можуть змінюватися на 1 % за умов:

– зміни температури газу на 2,75 ^{o}C;

– зміни атмосферного тиску на 7,6 мм. рт. ст.;

– зміни кількості водяної пари в газі на 80 г/м3 [6].

На даний час є доволі значна кількість нормативної документації для визначення хибних втрат [7÷9]. В той же час документації по визначенню дійсних втрат недостатньо, саме тому дана тема потребує детальнішого дослідження.

Витоки газу з підземних чи наземних газопроводів і споруд найбільш ймовірні [10]:

– на стикових з’єднаннях газопроводів: сталевих, чавунних, виконаних із кольорових металів і неметалевих;

– у місцях, уражених корозією: електрохімічною, блукаючими струмами, атмосферною;

– у місцях, які мають прихований (не виявлений своєчасно) заводський чи монтажний брак в трубах, деталях;

– у місцях недостатньо якісної роботи монтажників будівельних і експлуатаційних організацій, своєчасно не виявлених під час випробувань;

– із сальникових ущільнювачів компенсаторів чи арматури;

– із місць, пошкоджених під час будівництва паралельних чи перетинаючих існуючі

газопроводи підземних чи наземних споруд;

– із арматури, яка захищена коверами і збита (пошкоджена) при наїздах безрельсового транспорту;

– на ділянках газопроводу і на місцях установки арматури, не забезпечених необхідними компенсаційними засобами;

– у місцях з'єднань труб із різнорідних матеріалів;

– у місцях, пошкоджених при проведенні профілактичних чи аварійно-пошукових робіт;

– із споруд та арматури, які «втрачені» в процесі експлуатації газопроводів;

– із місць можливих переломів чавунних і неметалічних труб при поганій укладці і засипці газопроводів.

Дані дослідження стосуються лише підземних газопроводів, тому здебільшого тільки дев'ять перелічених причин мають місце при витоках.

Задачею дослідження є вивчення процесу витоків газу з підземних газопроводів, а також аналіз існуючих і розроблення нових засобів для пошуку місць витоків та визначення кількості втрат газу.

Аналіз літературних джерел. Проблемам пошуку місць витоків, вимірювання кількості втрат, а також суміжним дослідженням присвячено для робіт [11÷17]. Зокрема в роботі [11] розглянуте питання визначення газопроникності ґрунтів для розрахунку втрат газу при витоках, в роботі [12], спираючись на попередні дослідження, розроблена модель процесу витікання газу з підземного газопроводу і передбачено розроблення на базі цього дослідження приладів з визначення кількості втрат газу.

В роботі [13] запропоновано математичну модель фільтрації газу в ґрунті при витоках з газопроводів низького тиску, яка дозволяє підвищити ефективність діагностування малих витоків і оцінити розміри ареалів загазованості при цьому.

В працях [14÷17] приведені методики визначення втрат газу при витіканні, дано оцінку втрат при транспортуванні, запропоновані методи діагностування і виявлення витоків.

Проблеми, які виникають при використані різних методів пошуку місць витоків газу з підземних газопроводів. У разі, якщо в газопроводі газ знаходиться під високим тиском, то виникнення пошкодження газопроводу буде невдовзі зафіксоване за характерним звуком і викиданням ґрунту газовою струминою. В газових мережах з невисоким тиском у трубопроводі виникнення пошкодження може не привернути уваги і витікання може існувати протягом значного проміжку часу. Це приводить до значних втрат газу і виникнення вибухонебезпечної ситуації [13]. Дана проблема змушує зосередити дослідження саме на трубопроводах малого тиску.

Аналіз літературних джерел дозволив класифікувати методи виявлення витоків газу із підземних газопроводів наступним чином (рис. 1).

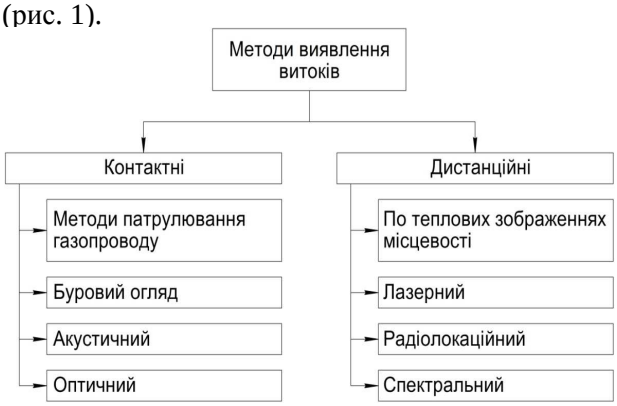


Рисунок 1 – Класифікація методів виявлення витоків газу з підземних газопроводів

Метод патрулювання газопроводу. Метод заснований на використанні портативних переносних газоаналізаторів. Оператор проходить на поверхні землі над газопроводом з переносним газоаналізатором, фіксуючи значення концентрації природного газу в атмосфері над поверхнею землі. Місце витоку газу з газопроводу визначається за найбільшим значенням концентрації природного газу в повітрі.

Метод патрулювання також може проводитися без використання газоаналізаторів. У цьому випадку місця витоків газу виявляються шляхом аналізу стану рослинності на поверхні ґрунту над трубопроводом. У місцях витоків газу певні рослини можуть активно розвиватися, оскільки в ґрунті в місці витоку газу розвивається певний тип бактерій, який харчується газоподібним метаном. Ці

бактерії живлять рослини продуктами своєї життєдіяльності, внаслідок чого певний тип рослин активно розвивається, тоді як інший навпаки зникає. Також продукти життєдіяльності бактерій, які харчуються газоподібним метаном і самі бактерії можуть залучати різних комах, по зосередженню яких у певних місцях можна буде судити про наявність витоків газу.

До недоліків даного методу слід віднести те, що прилади, які використовуються для досліджень, потребують періодичного калібрування з допомогою спеціальних калібрувальних станцій і газових сумішей.

До цього методу також можна віднести методику патрулювання газопроводу з використанням спеціально тренованих собак. Дана методика є більш гнучкою і надійною у порівнянні з використанням пошукового обладнання.

Використання собак для виявлення місць витоків природного газу засноване на тому, що горючі гази (речовини, які входять в склад цих газів) або нафтопродукти мають специфічний запах. Натреновані собаки виявляють такі речовини на рівні набагато нижчому, ніж декілька частинок на мільярд (ppd) як над землею, так і під нею. Собаки можуть використовуватись на різних ділянках і практично за будь-яких умов. Після спеціального курсу підготовки собака набуває навичок не тільки чітко реагувати на певний запах газу, а й відрізняти (диференціювати) його від супутніх та сторонніх запахів.

Для використання цього методу необхідне створення спеціальних служб і спеціальна підготовка персоналу.

Буровий метод. Метод полягає у тому, що вздовж газопроводу (через кілька метрів) на відстані 0,3÷0,5 м від стінки газопроводу з допомогою бурового інструменту роблять отвори – інспекційні свердловини. Глибина інспекційної свердловини визначається глибиною залягання газопроводу. Діаметр інспекційної свердловини знаходиться в межах 20÷40 мм. Інспекційна свердловина призначена для створення шляху виходу газу з ґрунту в атмосферу. За існуючого витоку газу, він часто виявляється в кількох інспекційних свердловинах, тому місце витоку газу визначають за отвором з найбільшою концентрацією газу, оскільки концентрація залежить від величини витоку і відстані до місця витоку газу з газопроводу. Концентрація газу визначається за допомогою приладів – газоаналізаторів. Раніше загазованість інспекційної свердловини визначали перевіркою «на вогонь».

У газоаналізаторах використовуються: напівпровідникові, термо-каталітичні, електрохімічні, спектрально-оптичні, плазмово-індикаторні й інші типи давачів.

Даний метод дуже енергозатратний і для визначення місця витоку необхідно мати дані по приблизному розташуванню пошкодження.

Акустичний метод. До поверхні труби газопроводу прикріплюють один або частіше два акустичні перетворювача на певній відстані один від іншого. Спектральна чутливість перетворювачів перекриває діапазон, в якому випромінюються акустичні шуми, що виникають внаслідок виходу газу. Витікання газу з трубопроводу через різного роду дефекти в тілі труби (наскрізні тріщини, ерозійні і корозійні пошкодження) приводить до виникнення шумів, спектральна щільність яких знаходиться в області звукового та ультразвукового діапазону.

Акустичні шуми, які виникають в результаті витоку газу, поширюються в стінці трубопроводу у всіх напрямках з певною швидкістю. Виконуючи запис акустичних шумів, які приймаються двома перетворювачами і розраховуючи взаємокореляційну функцію за двома вибірками, визначають місце розташування витоків газу.

При даному методі необхідний прямий доступ до трубопроводу, що викликає додаткові труднощі при роботі з підземними газопроводами.

Оптичні методи. Оптичні методи є активні і пасивні. Для активних методів необхідне джерело випромінювання. На поверхні землі над трубопроводом розміщуються блок випромінювача оптичного випромінювання (також використовується лазерне випромінювання на частотах поглинання його повітряно-метановою сумішшю) і відбивач на відстані від 50 м до 250 м.

Для проведення вимірювань використовується оптичне випромінювання з такою довжиною хвилі, при якій воно

найбільше поглинається (розсіюється) газоповітряною сумішшю. Таким чином, при появі витоків газу на шляху поширення променя інтенсивність випромінювання буде змінюватися, що буде реєструватися приймачем і стане вихідною інформацією про наявність місця витоку газу з газопроводу і його концентрацію, оскільки інтенсивність випромінювання є пропорційною концентрації газу в повітрі.

Як приймач випромінювання використовуються різного роду детектори: напівпровідникові, фотопомножуючі, оптико-акустичні та інші.

Пасивні методи не потребують джерела випромінювання. Проведення дослідження даними методами є дуже енергозатратним, а монтаж обладнання потребує значних матеріальних витрат. Крім того, при використанні даного обладнання є ймовірність помилкового спрацювання.

Тепловий метод. Визначення місця витоку газу з підземного газопроводу тепловим методом здійснюється на основі аналізу теплового поля випромінювання земної поверхні (пасивний метод). Оскільки температура газу, який проходить по газопроводу завжди вища, ніж температура ґрунту, то за умов наявності витоку буде відбуватися нагрівання ґрунту в зоні пролягання газопроводу.

Тріщини в газопроводі розміром (1х0,1) мм^2 можуть створювати на поверхні ґрунту теплові аномалії з температурним контрастом більше 10 ºС при розмірах плями порядку 10 м2.

При використанні тепловізорів місця витоків газу можна знаходити за допомогою мобільних лабораторій, аерознімання в режимі безперервного сканування.

Дані системи є надзвичайно дорогими і дуже складними у налаштуванні.

Лазерний метод. Лазерний метод визначення місць витоків газу з газопроводу та вимірювання величини витоків за своєю суттю схожий на оптичний, в основному є активним і заснований на опроміненні місцевості висококогерентним високоенергетичним (лазерним) випромінюванням.

При опроміненні місцевості використовуються одночасно два лазера з різними довжинами хвиль. Довжина хвилі випромінювання першого лазера потрапляє в діапазон поглинання природного газу (при такій довжині хвилі лазерного випромінювання воно найбільше поглинається або розсіюється природним газом). Довжина хвилі другого лазера вибирається такою, при якій лазерне випромінювання практично не поглинається природним газом.

Аналізуючи інтенсивності відбитого від поверхні землі лазерного випромінювання двох лазерів з різними довжинами хвиль, визначають місця витоків і величину витоку природного газу з трубопроводів.

Лазерний метод є дистанційним і його використовують для визначення місць витоків газу та визначення його концентрації при використанні мобільних лабораторій, вертольотів або літаків в режимі безперервного сканування. Також можливе використання даного методу для проведення сканування поверхні землі з орбітальних космічних апаратів (довжини хвиль, які використовуються для лазерів, як правило не сприймаються людськими органами зору).

Прилади, які використовують даний метод, є дорогими, складні в налаштуванні, а також мають малий термін експлуатації.

Радіолокаційний метод. Радіолокаційний метод визначення місць витоків газу з трубопроводу і вимірювання концентрації витоків є аналогічним лазерному. В даному випадку для опромінення місцевості прокладання газопроводу використовується радіовипромінювання.

Даний метод базується на різних електричних властивостях повітря і газу (степінь поглинання, величина іонізації тощо).

Результати радіолокаційного методу з застосуванням аерокосмічного моніторингу використовуються як для визначення потужності і величини витоків природного газу з трубопроводів, так і для виявлення потенційно небезпечних ділянок, особливо в сейсмічно активних зонах, а також для контролю процесів заболочування, підтоплення, надмірного зволоження ґрунту з подальшим прогнозуванням стану трубопроводу і можливих його ушкоджень, які можуть призвести до технологічних викидів і витоків газу.

Системи, які реалізовують даний метод, мають низький термін експлуатації, а також під

час їх роботи є висока ймовірність помилкового спрацювання.

Спектральний метод. Спектральний метод визначення місць витоків газу з трубопроводу і вимірювання концентрації витоків на відміну від попередніх дистанційних методів є пасивним (опромінення території не використовується).

Метод спектрального сканування базується на інтерпретації спектрів випромінювання теплового інфрачервоного (ІЧ) випромінювання в умовах безхмарної атмосфери з використанням спектрометрів і інтерферометрів (у тому числі Фур'є-інтерферометра).

За результатами спектральних досліджень місцевості з використанням літальних апаратів і орбітальних супутників визначають місця і величину витоку газу з газопроводу, прокладеного як над землею, так і під землею.

Обладнання, робота яких базується на даному методі, є дорогим і складне у налаштуванні.

Обладнання, яке використовується для реалізації вищеописаних методів виявлення місць витоків показано на рис. 2.

Як бачимо, всі описані вище методи пошуку місць витоків мають ряд недоліків. Окремо можна згадати проблеми вимірювання кількості втрат газу при витоках. Відомі приладові методи визначення об’єму витоку газу, зокрема, метод з використанням мобільного витратомірного комплексу [18]. В окремих випадках (за умови виявлення витоків природного газу в технологічних колодязях, підвалах) витоки ліквідовують без визначення об’єму витоку з використанням відповідних приладів. В інших випадках визначені методи застосувати неможливо внаслідок того, що розподільні мережі технологічно не готові до цього. Тоді необхідно застосовувати розрахункову методику, яка дозволяє обчислювати об’єм витоку за умови, що геометричні характеристики пошкоджень відомі [13].

Шляхи вирішення поставленої проблеми. З метою вирішення поставлених задач на кафедрі технічної діагностики і моніторингу ІФНТУНГ спроектовано та побудовано навчально-науковий полігон «Визначення витоків і втрат газу з газопроводів і газового обладнання» (рис. 3). Даний полігон складається з металевої коробки, в якій розміщені дві сталеві і одна поліетиленова труба. В кожен трубопровід зроблені врізання трубок з електроклапанами, які моделюють пошкодження трубопроводу. Дослідження на полігоні можна проводити як в умовах високого, так і низького тиску. Повітря низького тиску (до 0,05 МПа.) можна подавати через газовий лічильник. На протилежному кінці трубопроводу розташований манометр з допомогою якого можна стежити за величиною тиску.

Для подачі повітря під високим тиском (до 0,6 МПа.) зроблений окремий вхід. Газовий лічильник і манометр низького тиску при цьому перекриваються і відкривається манометр високого тиску.

Керування електроклапанами здійснюється через панель керування. Живиться обладнання від акумулятора.

Змонтовані трубопроводи і клапани засипані піском, а поверх піску ґрунтом.

Таким чином, на даному полігоні можна моделювати витоки газу із сталевих і поліетиленових газопроводів.

Навчально-науковий полігон не має можливості роботи із природним газом, із-за чого робота з приладами, принцип яких заснований на виявленні газу за його складом чи запахом, неможлива. Саме тому у подальших дослідженнях пропонується зупинитися на акустичному методі визначення місць витоку газу, а саме на методі акустичної емісії.



а)



б)



в)





г) *д)*

а – газоаналізатор для виявлення витоків методом патрулювання газопроводу; б – буровий інструмент; в – оптичний детектор метану; г – портативний тепловізор; д – лазерний детектор метану

Рисунок 2 – Обладнання для виявлення витоків газу





а) *б)*



в)



г)

а – на етапі встановлення металевої коробки; б – на етапі монтування труб і електроклапанів; в – на етапі засипки піском; г – етап завершеного будівництва полігону

Рисунок 3 – Вигляд навчально-наукового полігону «Визначення витоків і втрат газу з газопроводів і газового обладнання»

Даний метод заснований на реєстрації шуму, який виникає в місці витоків газу. Прилади, які працюють за цим методом, є досить чутливими, тому дозволяють виявити витік газу на значних відстанях від місця їх виникнення.

В роботі [19] приведені такі акустичні характеристики витоків газу:

1) звукове поле, яке випромінюється потоком газу з отвору під великим тиском є направленим. Ця направленість слабо залежить від параметрів витоку (тиску, розмірів отвору, складу газу) і в основному визначається кутом між віссю трубопроводу і діаметром труби, який проходить через центр отвору, а також відстанню від точки спостереження до витоку;

2) на спектральну характеристику шуму впливають, в основному, величина отвору, тиск і густина газу в трубопроводі. Менше впливає товщина стінки трубопроводу;

3) при реєстрації спектру шуму на деякій відстані від місця витоку необхідно враховувати вплив середовища, в якому проходить розповсюдження і реєстрація пружних коливань, на характеристику спектра.

Виходячи з вищевикладеного, при достатньому співвідношенні корисний сигнал – шум і відомих технологічних характеристиках транспортування газу методом акустичної емісії можна визначити не тільки місце витоку, але і його просторову орієнтацію і розміри.

Для покращення співвідношення корисний сигнал – шум пропонується проведення досліджень акустичних характеристик витоків газу на навчально-науковому полігоні. Зокрема, задаючи параметри тиску газу, величини отвору, напрям витоку, а також знаючи характер ґрунту, можна визначити, спектральну характеристику шуму, який виникає при витоках і на основі цих даних визначити на якій частоті звукового спектру найкраще проявляється звукова характеристика. Дослідження витоків газу доцільно проводити саме на цих частотах, оскільки на них отримуватимемо найвищий рівень корисного сигналу. При відносно однаковій спектральній характеристиці шуму на різних частотах у даному випадку вдасться покращити співвідношення корисного сигналу і шуму.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу літературних джерел і ознайомлення з сучасними розробками в галузі пошуку місць витоків газу з підземних газопроводів було обрано метод акустичної емісії, який з точки зору інформативності і точності визначення місця пошкодження є найбільш перспективний для подальшого розвитку.

Дослідження даного методу пропонується проводити на створеному навчально-науковому полігоні «Вивчення витоків і втрат газу з газопроводів і газового обладнання» в

ІФНТУНГ. Зокрема планується вивчення характеру змін спектру акустичного шуму при витоках газу з підземних газопроводів. На основі проведених досліджень необхідно визначити частоти, на яких є найкращим співвідношення корисний сигнал – шум для виконання задачі визначення витоків.

1. Довідник працівника газотранспортного підприємства / За заг. Ред.. А.А. Рудніка; Нац. акціонерн. комп. «Нафтогаз України», ДК «Укртрансгаз». – К: Росток, 2001. – 1090 с. 2. Мазур И. И. Безопасность трубопроводных систем / И.И. Мазур, О.М. Иванцов. – М.: ИЦ «ЕЛИМА», 2004. – 1041 с. 3. Кязимов К.Г. Справочник работника газового хозяйства / К.Г. Кязимов. – М.: Высш. шк., 2006. – 277 с. 4. Сідак В.С. Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання: навч. посібник / В.С. Сідак. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 227 с. 5. Підготовка персоналу газотранспортних компаній для пошуку витоків та визначення втрат природного газу / А.В. Яворський, О.М. Карпаш, Б.О. Клюк [та ін.] // Нафтова і газова промисловість. – 2010. – № 5. – С. 41-45. 6. И.А. Коляда. Герметичность газопроводов и определение утечки газа / И.А. Коляда, П.М. Гофман-Захаров. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 67 с. 7. Правила обстежень, оцінки технічного стану, паспортизації та проведення планово-запобіжних ремонтів газопроводів і споруд на них. Затверджені наказом Державного комітету будівництва України № 124 від 09.06.1998 р. та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 13.11.1998 р. за № 723/3163. 8. Методика визначення питомих виробничо-технологічних втрат природного газу підчас його транспортування газорозподільними мережами. – Затв. Наказом мін. палива та енергетики від 01.11.2006 № 418 та від 20.11.2007 № 558. 9. Методика визначення питомих виробничо-технологчних витрат природного газу під час його транспортування газорозподільними мережами. – Затв. Наказом мін. палива та енергетики № 264 від 30.05.2003. Із змінами та доповненнями, внесеними наказами Мін. палива та енергетики від 01.11.2006 № 418 та від 20.11.2007 № 558. 10. Белодворский Ю.М. Утечки газа, их причины и устранение / Белодворский Ю.М. – Л.: «Недра», 1965. – 160 с. 11. Ф.Д. Матіко. Визначення газопроникності ґрунтів для розрахунку втрат газу внаслідок пошкоджень підземних газопроводів / Ф.Д. Матіко, Г.Ф. Матіко, А.В. Федоришин // Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.13. – С. 50-55. 12. Ф.Д. Матіко. Модель процесу витікання газу із підземного газопроводу на основі газодинамічної дросельної структури / Ф.Д. Матіко, Г.Ф. Матіко // Методи та прилади контролю яксті. – 2012. – № 1. – С. 84-90. 13. Математичне моделювання фільтрації газу в ґрунт внаслідок виникнення малих витоків у газопроводі / В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, В.В. Фейчук [та ін.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – № 3. – С. 66-69. 14. Л.М. Заміховський. Метод виявлення витоків з трубопроводу при односторонньому доступі до середовища транспортування / Л.М. Заміховський, Л.О. Штаєр // Нафтогазова енергетика. – 2007 – № 2. – С. 59-62. 15. Капцов И. И. Определение количества жидкости в газопроводе / И. И. Капцов, В. Н. Гончар // Газовая промышленность. – 1989. – № 3. 16. Щербаков С. Г. Проблемы трубопроводного транспорта нефти и газа / С. Г. Щербаков. – М.: Наука, 1982. – 206 с. 17. Яковлев Е. И. Методика диагностики состояния внутренней полости магистрального газопровода / Е. И. Яковлев, Г. Крылов // Мингазпром СССР. – Киев: Союзгазпроект, 1987. – 254 с. 18. Виявлення витоків (втрат) природного газу в газорозподільній мережі з використанням мобільного витратовимірювального комплексу: СОУ 40.2-20077720-040:2011 – Київ, НАК «Нафтогаз України», 2011. 19. Ахмедов Л. В. Обнаружение утечек в газопроводах с использованием метода акустической эмиссии // Транспорт и подземное хранение газа. Отеч. произв. опыт: ЭИ. ВНИИЭ – Газпром – 1988. – № 5. – С. 16-19.

Поступила в редакцію 05.06.2013р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Грудз В. Я.