

ПІДХОДИ ДО ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКІВ ГАЗУ З ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ У ЗОНАХ ГЕОДИНАМІЧНОГО РИЗИКУ

А.В. Яворський, О.М. Карнаш, І.В. Рибіцький

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504708,
e-mail: rybitsky@nimg.edu.ua*

Описано причини та можливі наслідки виникнення витоків на магістральних газопроводах. Подано перелік найбільш ефективних методів для пошуку витоків газу на магістральних газопроводах, прокладених в зонах геодинамічного впливу. Подано сфери їх застосування, переваги та недоліки. Наголошено на відсутності належного забезпечення такого виду робіт.

Проведено порівняльний аналіз технічних засобів для виявлення витоків природного газу з лінійної частини магістральних газопроводів, прокладених у зонах геодинамічного ризику, подано їх основні технічні характеристики, умови застосування та виділено найбільш ефективні з них.

Доведено необхідність комплексного використання існуючих методів та технічних засобів з метою отримання достовірної інформації про місце та об'єм витоків.

Ключові слова: магістральний газопровід, зона геодинамічного впливу, виток природного газу, корозія.

Описаны причины и возможные последствия возникновения утечек на магистральных газопроводах. Перечислены наиболее эффективных методов для поиска утечек газа на магистральных газопроводах, проложенных в зонах геодинамического влияния. Поданы сферы их применения, преимущества и недостатки. Отмечено отсутствие надлежащего обеспечения такого вида работ.

Проведен сравнительный анализ технических средств для обнаружения утечек природного газа из линейной части магистральных газопроводов, проложенных в зонах геодинамического риска, представлены их основные технические характеристики, условия применения и выделены наиболее эффективные из них.

Доказана необходимость комплексного использования существующих методов и технических средств с целью получения достоверной информации о месте и объеме утечки.

Ключевые слова: магистральный газопровод, зона геодинамического влияния, истоки природного газа, коррозия.

Causes and possible consequences of leak in the gas mains are described. The most effective methods to search of gas leaks on gas pipelines laid on zones of geodynamic effects of are listed. Spheres of application, advantages and disadvantages are given. Lack of proper provision for such type of work is noted.

Comparative analysis of the technical means to detect leakage of natural gas from the linear part of the gas mains laid in areas of geodynamic risk is carried out. Their main technical characteristics, conditions of application and selected the most effective ones.

Necessity for an integrated use of existing methods and technical means to obtain reliable information on the location and amount of leakage is proved.

Keywords: gas pipeline, zone of geodynamic effects, sources of natural gas, corrosion.

Розгерметизація магістральних газопроводів є наслідком появи і розвитку різного роду дефектів, спричинених впливом різних чинників (у тому числі і геодинамічного). Це призводить до виникнення аварійних ситуацій з витоків природного газу (рис.1), згубні наслідки, яких вимагають прогнозування і попередження розгерметизації. Найбільш інтенсивного руйнування зазнає об'єкт в місцях перетину геодинамічної зони та у випадку розміщення в межах самої геодинамічної зони, що є особливо актуальним для інженерних споруд великої протяжності (трубопроводи, тунелі, авто- і залізничні магістралі, канали, ЛЕП, шахтні виробки тощо). Наша держава знаходиться в п'ятірці лідерів за викидами метану в нафтогазовій промисловості.

Метою даної роботи є аналіз основних підходів, методик та технічних засобів для пошуку витоків природного газу з лінійної частини магістральних газопроводів, прокладених в зонах геодинамічного ризику.

Системи газопостачання - це споруди тривалого користування, які піддаються старінню, тому зі збільшенням терміну експлуатації відмови системи зростають.

Причин, що викликають виток газу на підземних газопроводах, декілька.

По-перше, електрохімічна корозія металу труб в анодній зоні і у місцях пошкодження ізоляційного покриття газопроводу.

По-друге, незадовільна якість зварювальних робіт, наслідком чого є розрив на підземних газопроводах під дією температурних напружень і динамічних навантажень. Прокладений у зонах геодинамічного ризику газопровід піддається впливу зовнішніх сил, що викликають додаткові напруження в тілі труби, особливо в місцях стикових з'єднань. Механізм впливу зовнішніх чинників на газопровід дуже складний і не піддається визначенню, а високий ступінь випадкових збігів впливів різних зовнішніх чинників може призвести до виникнення напружень у тілі труби або зварному з'єднанні,



Рисунок 1 – Наслідки аварії на газопроводі, спричинені витокami газу

які перевищують границю плинності металу і спричиняють його розрив.

Розриви зварних з'єднань виникають, як правило, раптово, тому витоків газу, пов'язаних з ними, важко вчасно виявити й усунути. Особливу небезпечними ці два види витоків газу є у зимовий період, коли через замерзання верхнього шару ґрунту погіршуються умови для виходу газу в атмосферу. Саме в цей період року може збільшитися кількість випадків проникнення газу в підвали будинків та інші інженерні комунікації.

По-третє, механічні пошкодження підземних газопроводів під час проведення земляних робіт, пов'язаних з випадковим збігом ряду помилок і неточностей у проектно-виконавчій документації, помилковими діями технічних і адміністративних працівників, які проводять підземні роботи поблизу газопроводів [2, 3].

Лабораторні дослідження, проведені в ряді газових господарств України, свідчать про те, що швидкість поширення (фільтрації) і знаходження газу в ґрунті коливається від 1 до 4 м/год. і залежить від складу ґрунту (глина, пісок, насипний ґрунт і т.д.), його стану (ступеня вологості й промерзання), глибини закладення газопроводів, а також від робочого тиску газу в підземному газопроводі.

Існує декілька підходів до визначення місць та величини витоків природного газу на магістральних газопроводах. Всі вони базуються на різних фізичних методах з використанням різних принципів взаємодії фізичних полів з газоповітряною сумішшю.

Метод патрулювання газопроводу (контактний) полягає у використанні портативних переносних газоаналізаторів. Місце витоків газу визначається за найбільшим значенням концентрації природного газу в повітрі над газопроводом.

Метод патрулювання також може проводитися і без використання газоаналізаторів. В цьому випадку місця витоків газу виявляються за результатом візуального огляду рослинності на поверхні ґрунту над трубопроводом. В місцях витоків газу окремих видів рослин може інтенсивно розвиватися, у той час, коли інші види зникають. Це пояснюється розмноженням певного типу бактерій, що живлять ці рослини

продуктами своєї життєдіяльності. Також продукти життєдіяльності бактерій, що живляться газоподібним метаном і самі бактерії, можуть приваблювати різних комах, скупчення яких в певних місцях вказуватиме на наявність витоків газу [4, 5].

Метод патрулювання газопроводу з використанням спеціально натренованих собак. Метод виявлення місць витоків природного газу з магістральних газопроводів з залученням спеціально натренованих собак є більш гнучким, швидким і надійним порівняно з використанням пошукового обладнання.

До спеціальних навичок газорозвідувальних собак відносяться: виявлення витоків газу в квартирах, на промислових об'єктах та газопроводах; виявлення місць незаконних врізань в магістральні трубопроводи та продуктопроводи. Собаки є надійними помічниками на засніженій місцевості і швидкі у важких умовах.

Використання собак для виявлення місць витоків природного газу ґрунтується на тому, що речовини, які входять до складу горючих газів або газонафтопродукти, володіють специфічним запахом. Після спеціального курсу дресирування собака набуває навичок не тільки чітко реагувати на певний запах газу, а й відрізнити (диференціювати) його від супутніх та сторонніх запахів. Така здатність собак пов'язана з специфікою будови їх органів дихання: великі складки слизової оболонки носа, які містять понад 200 мільйонів чутливих рецепторів (для прикладу у людини їх близько 4 мільйонів) дають можливість собаці відчувати газ у концентраціях, набагато нижчих за одиниці часток на мільярд ррр як над землею, так і під нею, на що неспроможні навіть сучасні прилади. [2, 6].

Тренуванням собак займається спеціально-навчений персонал (кінологи). Для цього вони використовують тест-зразки (пробники) та тренувальні полігони (рис. 3).

Технічні засоби та обладнання.

1) Вимірні засоби контролю витоків газу серії **EX-TEC: HS680, 660, 650, 610** (рис. 4) з детектором метану. Прилади серії EX-TEC дозволяють з високою точністю фіксувати виток природного газу з газопроводів, прокладених під землею. Додатковий детектор концентрації

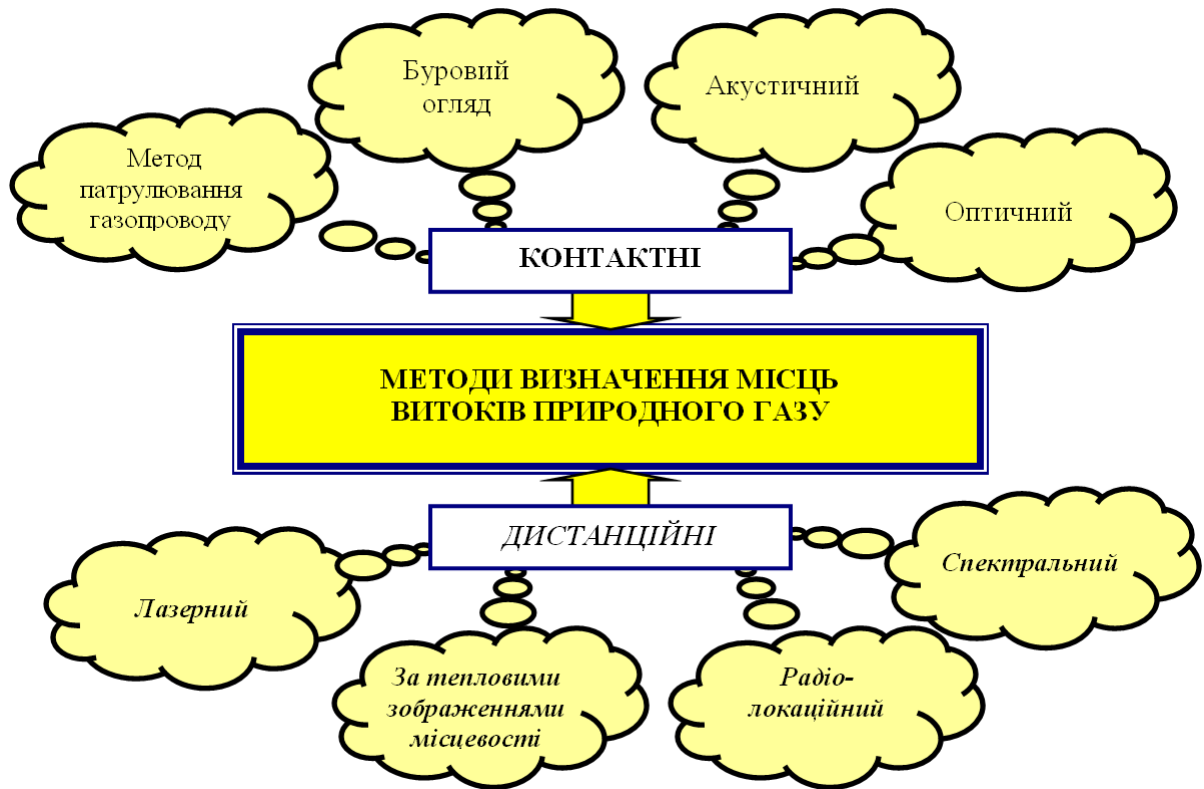


Рисунок 2 - Методи визначення місць витоків природного газу з магістральних газопроводів



Рисунок 3 – Тренування собак

кисню, який визначає ділянки з низьким значенням його вмісту, дозволяє комплексно підвищити точність місцезнаходження витoku природного газу з газопроводу [7].

Вбудований детектор метану також полегшує ідентифікацію місця витoku природного газу з газопроводу, який прокладений через болотисті місцевості. Для виявлення витоків природного газу, користувачеві не потрібні будь-які додаткові засоби та спеціальні знання.

2) **GasCheck** – газовий детектор для швидкого пошуку наявності та місць витікання будь-яких відомих газів чи їх сумішей, розроблений фірмою АТЕХ.

Використаний в приладі давач вимірювання мікрозначень електропровідності та теплопровідності дозволяє точно визначати найменші витoki природного газу.

Прилад оснащений рідкокристалічним дисплеєм, світлодіодним індикатором і звуковим сигналізатором мінімальнодопустимої концентрації газу [8, 9].

3) **Аналізатор Gas Pup.**

Аналізатор Gas Pup розроблений спеціально для використання в польових умовах, володіє високою чутливістю до домішок природного газу в атмосфері та поєднує роботу двох моніторів в одному. Прилад, обладнаний єдиним каталітичним сенсором з можливістю автоматичного калібрування, є простим в експлуатації, має міцний та надійний захищений корпус, дозволяє не тільки з легкістю визначати витoki природного газу, але й вимірювати тиск.

Буровий огляд (контактний). Полягає в тому, що вздовж газопроводу (через декілька метрів) на відстані 0,3 – 0,5 м від стінки газо-



Рисунок 4 – Засоби контролю витоків газу серії EX-TEC

проводу пробивають (пробурюють) отвори – свердловини. Глибина свердловини визначається глибиною залягання газопроводу. Діаметр свердловини не має практичного значення і рівний 20–40 мм. Свердловина призначена для створення шляху виходу газу з ґрунту в атмосферу. При наявному витокі, газ часто виявляється в декількох свердловинах, а місце витoku газу визначають за свердловиною з найбільшою концентрацією газу на поверхні. Концентрація залежить від об'ємів витoku і відстані до місця витoku газу з газопроводу. Концентрація газу визначається за допомогою приладів – газоаналізаторів.

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

Прилади та обладнання.

1) **GasClam** перша автоматична система моніторингу витоків природного газу (в тому числі з магістральних газопроводів), яка дає можливість проводити довготривалі автономні вимірювання (до 3 місяців) та отримувати достовірні значення в режимі реального часу.

Технічні характеристики:

довготривалий неперервний (3 місяці) моніторинг;

безпечність роботи без необхідності залучення обслуговуючого персоналу;

визначення витоків метану, кисню, діоксиду вуглецю та інших газів;

компенсація впливу температури та атмосферного тиску;

управління режимом заряджання акумуляторних батарей;

клас захисту – IP68;

зв'язок з персональним комп'ютером (RS232);

неперервне збереження результатів вимірювань.

2) Стационарна система визначення витоків природного та інших газів **GMA 36 Pro**.

GMA 36 Pro є новою інтелектуальною системою з гнучким управлінням та настінним кріпленням. Система здатна фіксувати витoki різних токсичних газів, в тому числі і природ-



Рисунок 5 – Газовий детектор GasCheck

ного газу та його компонентів і передавати результати вимірювань в режимі реального часу на пульти операторів. Система володіє світловою та звуковою сигналізацією наявності витoku та перевищення концентрації природного газу та інших токсичних газів у навколишньому середовищі.

Акустичний (контактний). Акустичний метод визначення місць витоків газу з газопроводів полягає в наступному. До поверхні труби газопроводу прикріплюється оди або найчастіше два акустичні перетворювачі на певній відстані один від одного, спектральна чутливість яких перекриває діапазон, в якому випромінюються акустичні шуми, що виникають внаслідок виходу газу. Оскільки про виході газу з трубопроводу через різного роду дефекти в тілі труби (наскрізні тріщини, ерозійні та корозійні пошкодження) виникають шуми, спектральна густина яких знаходиться в області звукового та ультразвукового діапазонів [5, 10].

Акустичні шуми, що виникають внаслідок витоків газу, поширюються в стінці трубопроводу у всіх напрямках з відомою швидкістю. Провівши запис акустичних шумів, які приймаються двома перетворювачами, та розрахувавши взаємкореляційну функцію за двома вибірками, визначають місце розташування витoku газу.

Даний метод можна використовувати як для визначення місць витоків газу, так і для визначення місць витоків нафтопродуктів, рідин, води та ін.

За тепловими зображеннями місцевості (дистанційний). Визначення місця витoku газу з газопроводу здійснюється методом аналізу теплового поля випромінювання земної поверхні. Оскільки температура газу, що протікає в газопроводі, є завжди вищою за температуру ґрунту, в зоні пролягання газопроводу відбуватиметься нагрівання ґрунту. Температура в місці витoku буде вищою. Тріщини в газопроводі розміром $(1 \times 0,1)$ мм² можуть створювати на поверхні ґрунту теплові аномалії з температурним контрастом більше 10°C за розмірами плями порядку 10 м².

Тепловізійними приладами чи пірометрами обладнують пересувні лабораторії, гелікоптери чи літаки для пошуку місць витоків газу в режимі неперервного сканування.

Прилади та обладнання.

ThermaCAM GasFindIR – інфрачервона камера для швидкого виявлення витоків природного газу (рис. 6).



Рисунок 6 – Інфрачервона камера ThermaCAM GasFindIR

Використовуючи новітні технології, тепловізор GasFindIR дозволяє отримати зображення витoku газу з метою архівування, документування або подальшої відправки його по електронною поштою.

GasFindIR працює в режимі реального часу, що збільшує ефективність виявлення ним витоків, оскільки дозволяє фахівцям обстежити трубопровід довжиною декілька кілометрів з рухомого транспортного засобу або здійснювати ширококутне панорамне сканування трубопроводу без спотворення чи розмивання зображення, виявляти незначні витoki природного газу з відстані декількох метрів та виявляти значні витoki газу на відстанях, безпечних для оператора, визначати витoki з рухомих цистерн.

Тепловізор GasFindIR може детектувати витік з відстані до 10 метрів з використанням стандартної оптики. Камера, обладнана об'єктивом зі збільшеною фокусною відстанню, застосовуються на гелікоптерах для виявлення витоків з барж, газопроводів і резервуарів-сховищ. За допомогою інфрачервоної камери можна обстежити понад 100 проблемних місць протягом однієї години.

Для виявлення витоків використовується технологія, реалізована в газоаналізатор (зокрема, в аналізаторах токсичних парів). Використовуючи газоаналізатор, фахівець може обстежити в середньому 500 клапанів за восьми-

годинну робочу зміну. Однак, значна частина такої роботи може бути витрачена даремно [11].

Оптичний (оптико-акустичний) метод (контактний). Визначення місць витоків газу за допомогою даного методу полягає в наступному. На поверхні землі над трубопроводом розміщуються блок випромінювача оптичного випромінювання (також використовується лазерне випромінювання на частотах поглинання його повітряно-метановою сумішшю) та відбивач на відстані від 50 м до 250 м.

Для проведення вимірювань використовується оптичне випромінювання з такою довжиною хвилі випромінювання, за якої воно найбільше поглинається (розсіюється) газоповітряною сумішшю. Таким чином, при появі витоків газу на шляху поширення променя, інтенсивність випромінювання змінюватиметься, що буде реєструватися приймачем і слугуватиме вхідною інформацією про наявність місця витoku газу з газопроводу та його концентрацію, оскільки інтенсивність випромінювання є пропорційною до концентрації газу в повітрі.

Як приймач випромінювання використовуються різного роду детектори: напівпровідникові, фотопомножувачі, оптико-акустичні тощо.

Лазерний метод (метод диференційного поглинання, дистанційний). За своєю сутністю подібний до оптичного і базується на опроміненні місцевості висококогерентним, високоенергетичним (лазерним) випромінюванням.

Для цього використовуються одночасно два лазери з різними довжинами хвиль. Довжина хвилі випромінювання першого лазера потрапляє до діапазону поглинання природного газу (найбільше поглинається чи розсіюється природним газом). Довжина хвилі другого лазера вибирається такою, щоб випромінювання практично не поглиналося природним газом. Аналізуючи інтенсивності відбитого від поверхні землі лазерного випромінювання двох лазерів з різними довжинами хвиль визначають місце витоків та величину витoku природного газу з трубопроводів.

Лазерний метод є дистанційним, і його можна використовувати для визначення місця витоків газу та концентрації при використанні пересувних лабораторій, гелікоптерів чи літаків у режимі неперервного сканування. Також можливе використання даного методу для проведення сканування поверхні землі з орбітальних космічних апаратів (довжини хвиль використовуваних лазерів, як правило, не сприймаються людськими органами зору).

Радіолокаційний метод (дистанційний) – відрізняється від лазерного лише застосуванням радіовипромінювання.

Даний метод базується на різних електричних властивостях (ступінь поглинання, величина іонізації) повітря та газу.

Результати радіолокаційного методу з застосуванням аерокосмічного моніторингу використовуються як для визначення місць та величини витоків природного газу з трубопроводів, так і для виявлення потенційно небезпеч-

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів виявлення витоків природного газу

Метод	Характеристика	Переваги	Недоліки
Акустичний (ультразвуковий)	Визначення місця негерметичності за акустичними шумами, які виникають в результаті витоку газу	- Портативність - Точне визначення місця витоку - Неперервний моніторинг	- Висока вартість - Можливість помилкового спрацювання - Погані результати при незначних витоків
Забір проб газу	На газопроводах використовуються іонізаційно-полумєневі детектори	- Відсутність помилкового спрацювання - Висока чутливість - Портативність	- Значна тривалість вимірювань - Значні матеріальні затрати
Контроль ґрунтів	Визначення наявності в ґрунтах ізотопів та хімічних реагентів, які додають в газ	- Висока чутливість - Відсутність помилкового спрацювання - Портативність	- Необхідність використання хімічних реагентів та висока вартість контролю - Значна тривалість вимірювань
Контроль технологічних потоків	Контролюється як тиск, так і витрата рідини	- Невисока вартість - Неперервний моніторинг	- Можливість помилкового спрацювання - Неможливість точного визначення місця витоку
Динамічні моделі	Моніторинг змодельованих параметрів технологічних процесів	- Портативність - Неперервний моніторинг	- Можливість помилкового спрацювання - Великі матеріальні затрати
Лазерний	Визначення величини поглинання імпульсного лазерного випромінювання в інфрачервоному діапазоні	- Дистанційний контроль - Висока чутливість - Портативність	- Висока вартість - Складність налаштування - Короткий термін експлуатації системи
Радіолокаційний	Визначення величини поглинання радіовипромінювання в певному діапазоні частот	- Портативність - Дистанційний контроль - Великий радіус дії	- Можливість помилкового спрацювання - Короткий термін експлуатації системи
Оптичний (оптичні волокна)	Контроль зміни оптичної проникності прокладеного у ґрунті оптичного волокна	- Простота контролю	- Можливість помилкового спрацювання - Значні матеріальні затрати на монтаж системи
Тепловізійний	Реєстрація температурних полів поверхні ґрунту	- Дистанційний контроль - Портативність	- Висока вартість - Складність налаштування

них ділянок, особливо в сейсмічно активних зонах, а також для контролю процесів заболочування, підтоплення, надлишкового зволоження ґрунту з подальшим прогнозуванням стану трубопроводу і можливих його пошкоджень, які можуть призвести до технологічних викидів та витоків газу [5].

Спектральний метод (дистанційний).

Спектральний метод визначення місць витоків газу з трубопроводу та вимірювання концентрації витоків, на відміну від попередніх дистанційних методів, є пасивним (без опромінення території) і базується на інтерпретації спектрів випромінювання теплового інфрачервоного (ІЧ) випромінювання в умовах безхмарної атмосфери з використанням спектрометрів та інтерферометрів (в тому числі Фур'є-інтерферометрів).

За результатами спектральних досліджень місцевості з використанням літальних апаратів та орбітальних супутників визначаються місця витоків та величина витоку газу з газопроводу, прокладеного як на поверхні так і під землею. Даний метод дозволяє визначати концентрацію в повітрі не лише природного, але й інших газів.

Порівняльна характеристика проаналізованих методів виявлення витоків природного газу на магістральних газопроводах подана в таблиці 1.

Як бачимо, для пошуку витоків природного газу на даний час існує широкий спектр технічних засобів, чого не можна сказати стосовно методичного забезпечення такого виду робіт. Існуючі „Методика визначення витоків газу на компресорних станціях магістральних газопроводів” та „Методика визначення витоку газу на

газорозподільчих станціях МГ ДК „Укртрансгаз”, які розроблені в УкрНДІгаз є застарілими і не враховують сучасних досягнень в приладобудуванні.

Дані методики розповсюджується на роботи з експериментального визначення наявності витоків газу з обладнання, встановленого на об'єктах компресорних станцій; вимірювання об'ємів виявлених витоків газу; визначення газозанятості приміщень.

У ході проведення робіт за згаданими методиками визначається також наявність витоків з підземних та наземних дільниць газопроводів.

Послідовність проведення перевірок герметичності обладнання компресорних станцій згідно з першою методикою складає 2 рази на рік (1-й – після осінньо-зимового періоду експлуатації, 2-й – при підготовці до осінньо-зимового періоду).

Для пошуку місць витоків газу та визначення його об'єму крім вказаних методик використовують: акустичний метод; метод намілювання вірогідних місць витоків газу; гумові кулі та оболонки; індикатори горючих газів; індикатори витоків газу; газові лічильники; поліетиленові плівки; анемометри; рідинні мікроманометри та ін. Величину витоку газу згідно згаданих методик визначають вимірюванням об'єму газу, який витік за певний час. Об'єм визначається за допомогою гумових куль та оболонки чи лічильників газу.

Результати вимірювань витоків газу обробляються по кожній групі обладнання окремо та оформляються згідно із затвердженим актом та протоколом вимірювань („Паспорт витоку газу”).

Проведений аналіз підходів та методик виявлення витоків газу на магістральних газопроводах, прокладених в зонах геодинамічного ризику свідчить, що:

- виникнення витоків природного газу на магістральних трубопроводах пов'язане з впливом різних чинників на газопровід і може призводити до небезпечних аварійних ситуацій;

- серед існуючих методів виявлення витоків природного газу на магістральних газопроводах найбільш придатними є дистанційні методи, зокрема радіолокаційний, тепловізійний та лазерний, оскільки вони володіють високою точністю вимірювань та швидкодією;

- для отримання повної інформації про кількісне значення величини витоку та точне місце його виникнення необхідне комплексне використання існуючих методів та технічних засобів;

- на даний час на ринку існує широкий спектр технічних засобів для пошуку та попередження витоків природного газу, вибір яких залежить від умов експлуатації та прокладання трубопроводу, наявних матеріальних ресурсів;

- існуючі методики пошуку витоків не враховують технічні можливості засобів пошуку.

Література

1 Довідник працівника газотранспортного підприємства; за заг. ред. А.А. Рудкіна; Нац. акціонерн. комп. «Нафтогаз України», ДК «Укртрансгаз». – К: Росток, 2011. – 1090 с.

2 Мазур И.И. Безопасность трубопроводных систем / И.И. Мазур, О.М. Иванцов. – М.: ИЦ «ЕЛИМА», 2004. – 1041 с.

3 Сідак В.С. Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання: навч. посібник / В.С. Сідак. – Харків: ЧНАМГ, 2005. – 227 с.

4 www.netl.doe.gov (The National Energy Technology Laboratory (NETL), part of DOE's national laboratory system, is owned and operated by the U.S. Department of Energy (DOE)). 2. Field testing of remote sensor gas leak detection systems. Final report. Rocky Mountain oilfield testing center. – Project № 18.10485. – U.S. Department of Energy. – National Energy Technology Laboratory (NETL), 2004. (http://www.netl.doe.gov/technologies/oil-gas/publications/td/Final%20Report_RMOTC.pdf)

5 Natural gas Leak detection in pipelines. Technology status report №DE-FC26-03NT41857. – U.S. Department of Energy. – National Energy Technology Laboratory (NETL), 2004. (http://www.netl.doe.gov/technologies/oil-gas/publications/Status_Assessments/scanner_technology_0104.pdf)

6 Non-destructive testing – Qualification and certification of personnel (ISO 9712:2005). – Чинний від 2005-07-29; ISO, 2006. – 25 с.

7 Неруйнівний контроль. Кваліфікація і сертифікація персоналу в галузі неруйнівного контролю (EN 473:2000, IDT): ДСТУ EN 473-2001. – [Чинний від 2003-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 28 с.

8 Павлов Н.И. Обнаружение температурных аномалий, обусловленных заглубленными в грунт инородными объектами / Н.И. Павлов, Е.Э.Эльц // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника». – 2007. – Т.50. – № 3. – С. 12-20.

9 Павлов Н.И. Малогабаритный авиационный сканер для съемки в инфракрасном и видимом диапазонах волн / Н.И. Павлов, Г.И.Ясинский // Изв. ВУЗов. «Радиоэлектроника». – 2004. – Т. 47, № 3. – С. 25-35.

10 Єнін П.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом / П.М. Єнін, Г.Г. Шишко, К.М. Предун. – К.: Логос, 2002. – 198 с.

11 Белашов А.Д. Особенности эксплуатации газового хозяйства в зимних условиях / А.Д. Белашов. – Л.: Недра, 1982. – 168 с.

12 Чучакин Л. А. Приборный контроль за состоянием газопроводов и газового оборудования / Л.А. Чучакин, Н.Е. Тверетин. – Л.: Недра, 1986. – 167 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії

06.03.11

Рекомендована до друку професором
Галуцаком М.О.