

УДК 622.691

ВИЯВЛЕННЯ МІСЦЬ ВИТОКУ ВУГЛЕВОДНІВ ІЗ ТРУБОПРОВОДІВ

Л.М.Заміховський, Л.О.Штаєр

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
e-mail: public@nung.edu.ua*

Представлено новий спосіб виявлення місць витоків вуглеводнів із технологічних трубопроводів. Спосіб дозволяє локалізувати місця витоків шляхом цифрової обробки відбитих хвиль тиску, які ідентифікують зміну стану трубопровідної системи.

Ключові слова: витік з трубопроводу, імпульсна характеристика, відбита хвиля, цифрова обробка сигналу.

1. Вступ

Лінійна частина розгалуженої мережі магістральних газопроводів, нафтопроводів і нафтопродуктопроводів експлуатується у складних природних умовах, зазнаючи широкого спектру навантажень та впливів. Це приводить до аварійних витоків вуглеводнів, які з'являються у результаті порушення герметичності труб. Витоки поділяються на великі та малі [1].

Відносний розмір малих витоків не перевищує 1% від номінальної пропускної здатності газопроводу (5-10 мм), їх вплив на параметри режиму трубопроводу, на відміну від великих витоків, несуттєвий (максимальна зміна тиску газу внаслідок появи малого витoku – 0,05 МПа), тому виявити їх важко.

Не зважаючи на значну кількість нормативних документів і заходів щодо підвищення надійності нафтогазотранспортної системи кількість випадків виникнення аварій у процесі транспортуванні вуглеводнів нафто-, газо- та продуктопроводами залишається значною. Статистичні дані про сумарне число виявлених відмов нафтогазопроводів в Україні, у тому числі аварійних (із впливом на довкілля), змінюються від 0,25 до 0,5 рік⁻¹ на 1000 км. Починаючи з 1993 року кількість відмов збільшилась, що пов'язано з крадіжками рідкого палива. Наслідками аварій на трубопроводах є людські втрати, забруднення атмосфери, водойм, ґрунту, економічні збитки.

Аналіз даних про НС (надзвичайні ситуації), пов'язаних з витоками нафтогазопродуктів з трубопроводів, за 2006-2007 рр. свідчить, що основними причинами появи аварійних витоків на трубопроводах України є метеорологічні умови та пошкодження під час проведення неконтрольованих земляних робіт – 60 % від загальної кількості витоків (рис. 1).

Значна кількість витоків (16 %) є наслідком несанкціонованого врізання в нафто-, газо- та продуктопроводи, що призводить до значних економічних втрат та завдає великої шкоди довкіллю.

Надійність технологічних трубопроводів є найважливішою умовою їх експлуатації. Втрата працездатності частини трубопроводу, який, як правило, не має резервної лінії, може призвести до аварії і повної зупинки промислового об'єкта. Зважаючи на інтенсивність появи витоків із трубопроводів, контроль стану трубопровідних систем і пошук дефектів залишаються найбільш актуальними завданнями, які потребують оперативного вирішення.

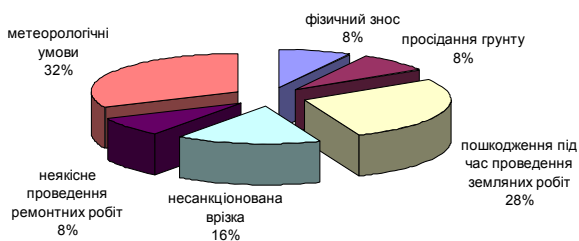


Рис. 1 Причини і розподіл відмов на трубопроводах, пов'язаних з появою витоків, у відсотках від загальної кількості (за даними 2006-2007 рр.)

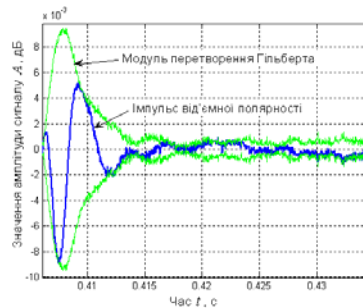


Рис. 2 Модуль перетворення Гільберта для сигналу-відгуку

2. Методи пошуку місць витоків вуглеводнів

Відомі системи виявлення витоків найчастіше базуються на використанні акустичного методу (прийом акустичних сигналів з двох точок трубопроводу, між якими знаходиться витік). Обробка сигналів здійснюється на основі кореляційного, кепстрального аналізу або аналізу акустичних збурень, які виникають у металі трубопроводу під час врізання [2-4] або на основі обробки акустичних сигналів, одержаних з пари акустичних датчиків у гідравлічно-збуреному середовищі); методу акустичної емісії; лінійного балансу (вимірювання в контрольних вузлах перепаду тиску між тиском в трубопроводі і «реперним» тиском, який створюється автономним джерелом, величину якого попередньо встановлюють для кожного контрольованого вузла [5]); електромагнітних методів.

Перспективним є односторонній метод, суть якого [7] полягає у розташуванні на великій відстані один від одного пари акустичних перетворювачів і виявлення витоків з трубопроводу за інтервалом часу між зондуючою і відбитою у місці витоків хвилями.

За множиною амплітудних значень різних частотних компонент з обох давачів виявляють місця витоків. Спосіб підвищення чутливості

виявлення малих витоків рідини з трубопроводу за інтервалом часу між зондуючою і відбитою в місці витoku гідрударними хвилями наведено в [8-9]. Особливістю вказаного підходу до вирішення проблеми пошуку витоків є те, що зондуючі хвилі посилають послідовно з малою амплітудою і частотою їх проходження, яка плавно змінюється до настання резонансу амплітуд коливань рідини в трубопроводі на ділянці від генератора хвиль до місця витoku. При цьому визначають резонансну частоту. Відстань до витoku визначається за швидкістю розповсюдження хвиль [8].

Недоліком наведених способів реалізації методів виявлення витоків є: високий ступінь затухання акустичних коливань у металі трубопроводу, що покритий теплоізоляційною оболонкою з високими віброгасячими і вібропоглинаючими властивостями; низька чутливість методів реєстрації акустичних коливань, яка не дозволяє відрізнити експлуатаційні збурення від збурень, викликаних появою свищів; відносно сильне затухання електромагнітних хвиль у трубопроводі за наявності в ньому електропровідних рідин чи стиснутих газів зі струмопровідними домішками.

3. Односторонній метод виявлення витоків вуглеводнів

Система виявлення витоків з промислових трубопроводів пропонуваної структури покликана забезпечити: підвищення точності визначення місця витoku; безпечність експлуатації і забезпечення контролю стану трубопроводу та його незалежність від впливу кліматичних і природних умов.

На сьогодні серед засобів технічного контролю трубопроводів немає пристроїв, робота яких ґрунтується на генеруванні та обробці відбитих хвиль в середовищі транспортування. Основною проблемою систем, які здійснюють процес пошуку цілі, є вибір виду зондуючих сигналів та подальша їх обробка з метою одержання інформації про характеристики цілі. Особливістю вказаного методу є взаємодія безпосередньо з середовищем транспортування (гідроакустичний канал передачі інформації) для виявлення стану трубопроводу (наявність чи відсутність витоків), що зменшує вплив сторонніх завад при фіксуванні і обробці відбитих від неоднорідностей сигналів (*reflected waves*). До неоднорідностей в середовищі транспортування відносяться різкі повороти, місця відгалужень і встановлення клапанів, місця витоків тощо. Вказаний метод діагностування дає змогу фіксувати прояви витoku (витоків) в трубопроводі, визначати його розташування по трасі (локалізація) та оцінювати умовний діаметр отвору у стінці трубопроводу, з якого відбувається витікання вуглеводнів.

Поява наскрізних витоків у трубопроводі є причиною додаткового впливу на процес розповсюдження хвиль у середовищі транспортування за рахунок акустичного опору отвору, який визначається за формулою:

$$Z_{отв.} = j\rho ck / Y_{отв.}, \quad (1)$$

де: ρ – густина середовища; $k = \omega / c$ – хвильове число; $Y_{отв.}$ – провідність отвору $Y_{отв.} = 2\pi r_{отв.}^2 / (2h_{отв.} + \pi r_{отв.})$, $r_{отв.}$ і $h_{отв.}$ – радіус і глибина (товщина стінки труби) отвору. Це дозволяє узагальнити наведену вище модель для випадку існування витоків по довжині трубопроводу з урахуванням зміни акустичного опору (імпедансу) каналу передачі (рідина чи газ) і виявляти діагностичні ознаки наявності витoku за видом імпульсної характеристики трубопровідної системи.

Для визначення місця витoku в трубопроводі за пропонованим методом необхідно визначити швидкість поширення збурених в середовищі транспортування акустичних хвиль. Стосовно трубопроводу процес розповсюдження таких хвиль носить назву “гідравлічного удару”. Гідравлічний удар, який створюється у трубопроводі, має властивість розповсюджуватись в середовищі транспортування і відбиватись від місць зміни конфігурації трубопроводу, на чому і ґрунтується ідея виявлення витоків. Швидкість розповсюдження ударної хвилі залежить від роду речовини, матеріалу труби, її діаметра, товщини стінок, і визначається із умови рівності кінетичної енергії речовини, яка рухається трубопроводом, та суми робіт на стискання речовини і розтяг труби:

$$c = \sqrt{K / \rho} \left(\sqrt{1 + \frac{Kd}{E\delta}} \right)^{-1}, \quad (2)$$

де: K – модуль пружності речовини (величина, обернена до коефіцієнта стиску); ρ – густина речовини; E – модуль пружності матеріалу труби; d , δ – внутрішній діаметр і товщина стінки труби. Якщо матеріал труби абсолютно непружний ($E = \infty$), то вираз (2) приймає вигляд $c = \sqrt{K / \rho}$, а швидкість розповсюдження ударної хвилі дорівнюватиме швидкості розповсюдження звуку в середовищі транспортування.

Спосіб локалізації місця витoku речовини з трубопроводу полягає у створенні тестового сигналу з первинних хвиль тиску в межах рідкого або газоподібного середовища транспортування та обробці відбитих сигналів, які ідентифікують зміну стану трубопровідної системи [10]. Первинні хвилі розповсюджуються зі швидкістю звуку в межах середовища, зумовлюючи генерацію вторинних відбитих хвиль на неоднорідностях (відгалуженнях трубопроводу, витоках, запірній арматурі, різких згинах і т.д.) трубопроводу. Прийняті датчиком тиску системи вторинні відбиті хвилі, перетворені в електричні, а далі – в цифрові сигнали, після обро-

бки за допомогою алгоритму обчислення автокореляційної функції, формують в пам'яті мікропроцесорного пристрою імпульсну характеристику трубопроводу, яка дозволяє виявити всі значні його неоднорідності. Імпульсна характеристика трубопроводу містить в собі всю інформацію про неоднорідності, включаючи топологію трубопроводу та фізичні характеристики речовини, що транспортується. Для виявлення нових неоднорідностей система за допомогою мікропроцесорної програми здійснює віднімання експериментальної імпульсної характеристики від еталонної, формуючи різницеву імпульсну характеристику. При цьому із експериментальної імпульсної характеристики усуваються відомі неоднорідності, зумовлені топологією трубопроводу і залишаються тільки нові неоднорідності, виявлені під час вимірювання. Система локалізації не має обмежень щодо середовища транспортування в трубопроводі.

За відомою різницею часу ($T1 - T2$) між пуском тестового сигналу та прийманням відбитої хвилі і швидкістю розповсюдження хвиль в середовищі транспортування визначається координата L неоднорідності трубопроводу:

$$L = v \cdot (T1 - T2) / 2.$$

Різниця ($T1 - T2$) визначається за максимумом взаємокореляційної функції тестового завадостійкого сигналу та зареєстрованого сигналу-відгуку.

4. Будова експериментального стенду

Для дотримання відповідності при моделюванні процесу розповсюдження хвиль у моделі трубопроводу з метою виявлення малих витоків діаметри отворів при моделюванні вибирались із критерію забезпечення відповідних реальних розмірів витоку та врахуванні наявності товстої стінки.

Експериментальний лабораторний стенд включав: поліетиленові труби високої густини (HDPE) класу PE 80 довжиною 2 м із зовнішнім і внутрішнім діаметром відповідно 50 і 46 мм з отворами різного діаметру (4, 5, 6 і 8 мм), компресор потужністю 400 Вт, який працює в режимі нагнітання; мікрофон, який відіграє роль перетворювача сигналів у системі; комп'ютер, призначений для реєстрації сигналів з мікрофона і їх обробки; з'єднувальні елементи трубопроводу; а також поліетиленові труби з отворами різного діаметру (4, 5, 6, і 8 мм).

Для проведення експериментальних досліджень визначено відносний розмір витоку $l = S_g / S$, де: $S = 0,25\pi D_g^2$ – площа перерізу трубопроводу, D_g – внутрішній діаметр трубопроводу, S_g – площа витоку. Розмір l змінювався в діапазоні 0,007-0,03 (витоки такого розміру відносяться до “малих”).

Дослідження можливості використання відбитих хвиль з метою виявлення наявності витoku та його локалізації проводилось у двох варіантах – за відсутності руху середовища і при нагнітанні повітря у трубопроводі. Загальна довжина трубопроводу $L = 24$ м. Відношення діаметру до довжини складає $0,046/24 \approx 0,002$. Результати проведених досліджень представлені в [11].

5. Обробка сигналів

Стабільність форми для зонduючого і відбитих сигналів не характерні, оскільки вони формуються, здебільшого, під впливом середовища. Тому для отримання достовірних даних про характеристики (якість) середовища безпосередньо вимірюваними значеннями імпульсу відбитих сигналів (амплітуда, полярність, час запізнення, ширина осциляції) – слід передбачити можливість варіації його параметрів.

За основу алгоритму виявлення зонduючих сигналів і визначення їх характеристик пропонується використовувати перетворення Гільберта. Модуль перетворення Гільберта для зонduючих і відбитих імпульсів довільної форми – гладка аналітична однополярна функція, яка має тільки один максимум, тому виявлення сигналу на часовій осі зводиться до пошуку максимумів модуля перетворення. Полярність імпульсу визначається за значенням хвильової функції в момент часу, який відповідає максимуму модуля.

Приклад побудови огинаючої реєстрованого сигналу наведено на рис. 2.

Алгоритм первинної обробки реєстрованих сигналів з використанням перетворення Гільберта включає такі кроки: попередня цифрова фільтрація (не обов'язкова); розрахунок перетворення Гільберта; пошук локальних максимумів модуля перетворення Гільберта; визначення ширини осциляцій.

У випадку використання завадозахищених сигналів (наприклад, коди Баркера), як вхідних первинна обробка реєстрованих сигналів зводиться до обчислення автокореляційної функції сигналу. Ці сигнали володіють такою властивістю: незалежно від числа позицій M значення їх автокореляційної функції $B_u(n)$, при всіх $n \neq 0$ не перевищують одиниці; енергія цих сигналів, тобто $B_u(0)$, чисельно дорівнює M .

Алгоритм первинної обробки реєстрованих сигналів із використанням АКФ включає наступні кроки: попередня цифрова фільтрація (не обов'язкова); розрахунок АКФ; пошук локальних максимумів АКФ.

6. Висновок

Як свідчать результати проведених досліджень, особливістю запропонованого способу локалізації місця витoku вуглеводнів з трубопроводу є можливість за одностороннього доступу до середовища транспор-

тування виявити та визначити координату неоднорідності в трубопровідній системі та підвищити достовірність одержаної інформації за шляхом цифрової обробки прийнятих сигналів.

Література

1 Ионин Д.А., Яковлев Е.И. Современные методы диагностики магистральных газопроводов. – Л.: Недра, 1987. – 232 с.

2 Method and apparatus for detecting leaks in pipelines using cross-correlation techniques. US Patent 5205173, Int. Cl. G01M 003/00 / Allen, Trevor J.; Application No. 718746 filed on 06/21/1991; Issued on April 27, 1993.

3 Пат. UA 20569 А, МПК⁵ G01M3/24 Спосіб визначення місцезнаходження течії в трубопроводах / Ігуменцев Є.О.; № 961124779; Заявл. 23.12.1996; Опубл. 27.02.1998, Бюл. №1.

4 Латышев Л.Н., Насырова З.Р. Система обнаружения несанкционированных врезок в магистральный нефтепровод // Нефтегазовое дело.– 2006. – http://www.ogbus.ru/authors/Latyshev/Latyshev_1.pdf – 10 с.

5 Пат. UA 25160 А, МПК⁶ F17D05/02. Спосіб контролю герметичності діючого трубопроводу і пристрій для його здійснення. / Кутинський Я.М.; № 96051833; Заявл. 12.05.1996; Опубл. 25.12.1998, Бюл. №6.

6 Пат. SU 642575, МПК F17D5/06. Способ определения расстояния до места повреждения трубопровода. / Белкин А.П., Рошин А.П., Виноградов Н.И.; № 2186949-08, Заявл. 04.11.1975; Опубл. 15.01.1979, Бюл. №2.

7 Method of detecting a leakage of fluid. US Patent 4543817, Int. Cl. G01M 3/24, F17D 5/00, F17D 5/06 / Sakae S.; Application o. 06/480787 filed on 03/31/1983; Issued on October 1, 1985.

8 Пат. SU 1707429 А1, МПК F17D5/02. Способ определения места утечки жидкости из трубопровода. / Белкин А.П., Спасенов В.Я.; №4744740/29, Заявл. 03.10.89; Опубл. 23.01.92 Бюл. №3.

9 Пат. RU 2197679 С2, МПК F17D5/02. Способ определения мест утечки жидкости из трубопровода / Галиакбаров В.Ф., Гольянов А.А., Коробков Г.Е.; №2001108766/06, Заявл. 03.04.2001; Опубл. 27.01.2003.

10 Пат. UA 83290, МПК G01N 29/04, G01M 3/24 / Спосіб локалізації місця витoku речовини з трубопроводу та система для його здійснення/ Заміховський Л.М., Ровінський В.А., Штаєр Л.О.; № a200610331, Заявл. 28.09.2006, Опубл. 25.06.2008, Бюл. № 12.

11 Заміховський Л.М., Штаєр Л.О. Контроль стану трубопроводу з використанням імпульсних характеристик // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2006. – № 4/1 (22). – С. 18-19.

EXPOSURE OF SOURCES FROM PIPELINES**L.M.Zamihovski, L.O.Shayer***Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas
15, Carpats'ka Street, Ivano-Frankivs'k, 76019, Ukraine*e-mail: public@nung.edu.ua

A new method of exposure of sources from technological pipelines, which at one-sided access to the environment of transporting allows to expose a source on the basis of treatment of the removed waves of pressure, is represented. Treatment of information includes previous filtration of the set type of signal, forming of impulsive description of pipeline and after its change the localization of source.

Keywords: *escaped from a pipeline, impulsive description, removed wave, digital signal processing.*